



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

Sci 1480.155

HARVARD COLLEGE LIBRARY



BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SCIENCE CENTER LIBRARY



BULLETIN
DE
L'ASSOCIATION TECHNIQUE
MARITIME.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN
DE
L'ASSOCIATION TECHNIQUE
MARITIME.

N° 4.
SESSION DE 1893.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

--
1894

Sci 1480.188



DeGrand fund

BULLETIN
DE
L'ASSOCIATION TECHNIQUE
MARITIME.

STATUTS

APPROUVÉS PAR L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 1^{er} DÉCEMBRE 1888.

But de l'institution.

ART. 1. — Il est créé à Paris une *Association technique maritime* ayant pour but de perfectionner la construction et l'armement des navires :

1° En rassemblant en commun les résultats de l'expérience acquise isolément par les constructeurs, mécaniciens, officiers de marine, armateurs, yachtsmen et autres, et qui, sans valeur lorsqu'ils restent isolés, peuvent aider au progrès des constructions lorsqu'ils se trouveront condensés dans une publication spéciale ;

2° En faisant connaître les résultats des travaux accomplis à l'étranger et en constituant des archives renfermant tous les renseignements utiles aux industries maritimes ;

3° En mettant à la disposition de l'initiative individuelle la force collective de l'institution pour étudier les inventions nouvelles, discuter les théories et problèmes techniques, et poursuivre les recherches expérimentales et autres qui peuvent être de nature à faire progresser la science des constructions navales et les méthodes d'exploitation maritime.

Organisation.

ART. 2. — L'Association technique maritime se composera de *membres adhérents* et de *membres honoraires*.

Les membres adhérents seront convoqués en assemblée générale chaque année, dans le courant du mois de décembre, afin d'élire les membres du Bureau et le trésorier pour l'année suivante. Les membres du Bureau ainsi que le trésorier sont rééligibles.

§ 1. Tout candidat devra être âgé de 21 ans, au moins, et être présenté par deux membres au moins.

Les officiers des différents corps de la marine militaire seront admis sans avoir besoin de présentation.

§ 2. Le titre de *membre honoraire* pourra être donné aux personnes auxquelles l'Association désirera conférer une distinction honorifique.

§ 3. Aurent droit au titre de *membre fondateur* les membres du Comité d'organisation et les premiers adhérents.

§ 4. L'admission provisoire des membres nouveaux sera prononcée par le Bureau. L'admission sera rendue définitive par le vote de l'assemblée générale.

Administration.

ART. 3. — L'Association sera administrée par son Bureau, composé d'un président, de quatre vice-présidents, d'un secrétaire général, d'un secrétaire, d'un secrétaire-adjoint et d'un trésorier.

Le Bureau s'adjoindra dix membres adhérents pour former un *Comité d'études* qui examinera les communications adressées à l'Association, décidera s'il y a lieu de les publier dans le *Bulletin* ou de les lire à l'assemblée générale, prendra toutes les mesures propres à favoriser le développement de l'Association, la création d'archives aussi complètes que possible, etc.

§ 1. Ce Comité d'études se réunira sous la présidence du président ou de l'un des vice-présidents, chaque fois que le Bureau le jugera nécessaire.

§ 2. Les fonctions du secrétaire général consisteront à diriger la correspondance de l'Association, à tenir les procès-verbaux de toutes les séances, à s'occuper de la publication des Mémoires, à prendre soin de la bibliothèque et des collections de la Société, à diriger la préparation des comptes.

§ 3. Le secrétaire général sera assisté du secrétaire et du secrétaire-adjoint. Ce dernier sera chargé spécialement de la bibliothèque et de l'impression du *Bulletin de l'Association*.

Assemblée générale.

ART. 4. — Une assemblée générale de l'Association aura lieu chaque année à Paris, au siège provisoire de la Société, rue Daunou, 18.

§ 1. L'ordre du jour de l'assemblée générale sera fixé ainsi qu'il suit :

- 1° Lecture des rapports du Comité d'études et du trésorier;
- 2° Élection du Bureau pour l'année suivante;
- 3° Lecture et discussion des Mémoires approuvés par le Comité d'études;
- 4° Modification des statuts s'il y a lieu.

Le nouveau Bureau entrera en fonctions à partir de la clôture de l'assemblée générale.

Cotisations.

ART. 5. — § 1. Les membres adhérents payeront une cotisation annuelle de 30^{fr} : ils recevront en échange le *Bulletin de l'Association*.

La cotisation annuelle pourra être remplacée par un paiement unique de 400^{fr}, qui donnera droit au titre de souscripteur perpétuel.

§ 2. A défaut de paiement pendant deux années consécutives, le Bureau pourra proposer la radiation.

Le Bureau pourra accorder des dispenses de cotisation aux membres et associés qui se trouveront dans des conditions spéciales, ou accepter en paiement des livres ou autres objets utiles à l'Association.

Les membres honoraires ne payeront pas de cotisation.

§ 3. Les cotisations sont dues à compter du 1^{er} janvier de chaque année, quelle que soit l'époque de l'admission. La première année se comptera à partir du 1^{er} janvier 1889.

Emploi des fonds.

ART. 6. — Les ressources provenant des cotisations et des dons faits à l'Association seront employées au paiement des frais de toute sorte supportés par l'administration, à la publication du *Bulletin*, à la constitution d'une bibliothèque technique, etc.

Les sommes restant en caisse à la fin de chaque année seront placées par les soins du Bureau et réservées pour faire face aux dépenses exceptionnelles que l'Association peut avoir à supporter.

Dispositions légales.

ART. 7. — Nul ne peut être élu membre du Bureau s'il n'est Français et s'il ne jouit pas de ses droits civils et politiques.

ART. 8. — Le président de la Société fera connaître en temps utile à l'autorité les changements qui viendront à se produire dans la composition du Bureau.

Il adressera chaque année à M. le Préfet de police un compte rendu sur la situation morale et financière de la Société.

ART. 9. — Les discussions politiques et religieuses sont formellement interdites dans les réunions.

ART. 10. — Les modifications statutaires qui seraient adoptées ne pourront être mises en vigueur sans l'approbation préalable de l'autorité.

ART. 11. — La dissolution de l'Association ne pourra être prononcée que par une assemblée générale et à la majorité des deux tiers des membres présents.

ART. 12. — En cas de dissolution, les fonds restant en caisse, après toutes dépenses soldées, seront versés à une Société scientifique ou à une Société de bienfaisance, selon la décision prise à ce sujet par l'assemblée générale.

NOTA. — Les correspondances, Mémoires, brochures, livres, journaux, etc., doivent être adressés à M. le secrétaire général de l'Association technique maritime, 8, place de la Bourse, à Paris.

Les cotisations non encore payées peuvent être adressées à M. Borja de Mozota, trésorier, Bureau Veritas, 8, place de la Bourse, Paris.

MEMBRES DU BUREAU POUR 1893-94.

— — — — —

<i>Président :</i>	M. DE BUSSY, Membre de l'Institut, Inspecteur général du Génie maritime en retraite.
<i>Président d'honneur :</i>	M. le Vice-Amiral THOMASSET.
<i>Vice-présidents :</i>	M. J.-A. NORMAND, Constructeur de navires au Havre.
	M. CH. MOUTIER, Directeur général de la Compagnie d'assurances maritimes <i>la Foncière</i> .
	M. E. PÉRIGNON, Ingénieur.
	M. DAYMARD, Ingénieur en chef de la Compagnie générale Transatlantique.
<i>Secrétaire général :</i>	M. L. PIAUD, Ingénieur en chef du Bureau Veritas.
<i>Secrétaire :</i>	M. L. VIVET, Ingénieur au Bureau Veritas.
<i>Secrétaire-adjoint :</i>	M. L. MULLER, Capitaine au long cours.
<i>Trésorier :</i>	M. BORJA DE MOZOTA, Chef du Service administratif du Bureau Veritas.

— • —

COMITÉ D'ÉTUDES.

—

MM. LES MEMBRES DU BUREAU

et MM. CARIÉ, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

DOYÈRE, Ingénieur de la Marine, Sous-Directeur de l'École d'application du Génie maritime.

DUPRAT, Directeur de la Compagnie des Chargeurs réunis.

LECLERT, Ingénieur de la Marine en retraite.

MENIER (G.), Ingénieur civil.

NOEL, Ingénieur de la Marine en retraite.

RUEFF, Directeur des Messageries fluviales de Cochinchine.

WIDMANN, Directeur général des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

— • —

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES.

MM.

- ALLEST (D'), Directeur des Ateliers Fraissinet, à Marseille.
ANASTASIOU, Ingénieur de la Marine hellénique, à Athènes.
ANEMAET, Président du Conseil d'administration du Bureau Veritas.
ACROUS, Directeur des Constructions navales en retraite.
AUROUS, Ingénieur de la Marine, à Brest.
BACOT, Ingénieur des Constructions navales en retraite.
BARTHELET, Directeur du *Sémaphore*, à Marseille.
BEAUMANOIR (J. DE), Assureur maritime, à Bordeaux.
BELAMY, Inspecteur du Bureau Veritas, à Nantes.
BERNARD, Directeur de la *Banque maritime*.
BERNARD, Ingénieur aux Forges et Chantiers de la Méditerranée, au Havre.
BERRYER-FONTAINE, Directeur des Constructions navales, à Toulon.
BERTIN, Directeur de l'École d'Application du Génie maritime, à Paris.
BIDERMANN, Ingénieur.
BIENAYMÉ, Inspecteur général du Génie maritime.
BOISSEVAIN, Inspecteur du Bureau Veritas, à Marseille.
BONDY (vicomte L. DE), Président de la Société des Chantiers et Ateliers de la Gironde, à Paris.
BORJA DE MOZOTA, Chef du Service administratif du Bureau Veritas.
BOUCHER, Ingénieur-Mécanicien.
BOUCLEY, Directeur de la Corderie Centrale, à Paris.
BOULET, Ingénieur-Constructeur.
BROTHERHOOD, Ingénieur (S. P.).
BUSSY (DE), Membre de l'Institut, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, Ingénieur conseil de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire.
CABROL (Baron PH. DE), Administrateur Délégué de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, à Paris.
CADIAT, Directeur des Établissements Mouraille, à Toulon.
CANET, Directeur du service de l'artillerie aux Forges et Chantiers de la Méditerranée.
CARIÉ, Ingénieur de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Paris.
CEUVEL, Ingénieur-Constructeur de navires, à Amsterdam.
CHAPMAN, Ingénieur civil.
CHAUDOYE, Directeur général de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, à Paris.
CHEVREUX, Ingénieur civil des Constructions navales.
CLAPARÈDE (CL.), Ingénieur-Constructeur, à Argenteuil.
CLAPARÈDE (FR.), Ingénieur-Constructeur, à Argenteuil.
CLAUZEL, Ingénieur de la Marine.
CLEEF (J.-E. VAN), Ingénieur des Constructions navales, attaché au Département de la Marine, à Batavia.

MM.

CLERMONT (DE), Administrateur de la Compagnie des Chargeurs Réunis.
COP, Ingénieur de la Marine des Pays-Bas.
CRETZ, Ingénieur de la Société Cockerill.
CRONEAU, Ingénieur de la Marine, Professeur à l'École d'Application du Génie maritime, à Paris.
CROSNIER, Ingénieur aux anciens Établissements Cail.
DABLAUD, Fondateur de pouvoirs de la *Foncière-Transports*.
DAYMARD, Ingénieur en Chef de la Compagnie Générale Transatlantique, à Paris.
DEGOIX, Assureur maritime.
DEINSE (VAN), Inspecteur de l'Association néerlandaise d'assurances maritimes.
DELAITRE, Ingénieur de la Marine en retraite, Ingénieur à la Compagnie de l'Ouest.
DELAUNAY-BELLEVILLE, Président de la Chambre de Commerce, à Paris.
DELÉARDE, Inspecteur de la Compagnie d'assurances maritimes *la Foncière*, à Lille.
DELZONS, Représentant à Paris de la *Maatschappij de Maas*, de Rotterdam.
DEWULF, Capitaine au long cours, Inspecteur du Lloyd, à Dunkerque.
DEZEUSTRE, Assureur maritime, à Boulogne-sur-Mer.
DIBOS, Inspecteur technique de la Compagnie d'Assurances maritimes *la Foncière*.
DOYÈRE, Sous-Directeur de l'École d'Application du Génie maritime, à Paris.
DREYFUS, Ingénieur à la Compagnie Générale Transatlantique, à Saint-Nazaire.
DREYFUS (M.), Administrateur-Délégué de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, à Paris.
DRZEWIECKI (Stéphane), Ingénieur.
DUBAR, Directeur de la succursale des anciens Établissements Cail, à Saint-Denis.
DUCHESNE, Ingénieur au Bureau Veritas.
DUDEBOUT, Ingénieur de la Marine, à Marseille.
DUMINY, Ingénieur en Chef de la Compagnie des Chargeurs Réunis, au Havre.
DUPRAT, Directeur de la Compagnie des Chargeurs Réunis, à Paris.
DUPRÉ (M.), Capitaine de frégate.
ELGAR (Francis), Vice-Président de l'*Institution of Naval Architects*.
ELLIS, Inspecteur du Bureau Veritas, à Liverpool.
EVERS, Ingénieur civil, au Havre.
FAURE (Félix), Vice-Président de la Chambre des Députés.
FERRAND, Ingénieur des Constructions navales.
FLEURET, Ingénieur civil.
FLICHE, Ingénieur de la Marine en retraite, attaché aux usines du Creusot.
FOULD (Henri), Président de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, à Paris.
GALLICE, Yachtman.
GARNIER, Ingénieur de la Marine, à Toulon.
GAUTHIER, Sous-Directeur technique des Messageries maritimes, à la Ciotat.
GAUTHIER-VILLARS, ancien Élève de l'École Polytechnique, Imprimeur-Éditeur.
GAUTHIER-VILLARS (Albert), ancien Élève de l'École Polytechnique, Imprimeur-Éditeur.
GEFFRIN, Inspecteur du Bureau Veritas, à Dunkerque.
GODARD, Ingénieur de la Marine, Directeur de la Société des Générateurs Belleville.
GODET, Ingénieur de la Corderie Centrale, au Havre.
GOODKOOP, Ingénieur-Constructeur de navires, à Amsterdam.
GOYETCHE, Assureur maritime, à Bordeaux.

MM.

- GROLOUS, Ingénieur à la Compagnie Générale Transatlantique.
GUÉRIN DE LITEAU, Ingénieur à la Compagnie Générale Transatlantique.
GUICHARD, Directeur des Ateliers et Chantiers de la Loire, à Saint-Nazaire.
GUILLAUME (E.), Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique, à Saint-Nazaire.
GUILLET DE LA BROUSSE, Ingénieur.
GUYOU, Capitaine de frégate, Membre de l'Institut.
HARADA, Ingénieur à l'Arsenal de Yokoska (Japon).
HAUSER, Ingénieur de la Marine.
HEER (H. DE), Ingénieur à l'Arsenal de Sœrabaya.
HUBAC, Ingénieur de la Société des Générateurs Belleville, à Saint-Denis.
HUYGHENS, Constructeur de navires, à Amsterdam.
JANSEN, Ingénieur civil, à Maestricht.
JULLIEN (Marius).
KIRKALDY, à Londres.
LARUE, Directeur de la Compagnie générale de la Navigation, à Lyon.
LECLERT, Ingénieur des Constructions navales en retraite.
LECOINTE, Ingénieur de la Marine de l'État, Belgique.
LE COUR GRANDMAISON, Ancien député, Armateur à Nantes.
LEDoux, Ingénieur en Chef au corps des Mines, à Paris.
LEGRU, Ingénieur civil.
LELIEPVRE, Ingénieur chargé de l'Agence maritime de la Société de Denain et d'Anzin, à Dunkerque.
LEROY (J.), Agent de la Compagnie d'Assurances maritimes *la Foncière*, à Calais.
LESAUVAGE, Directeur des Chantiers Satre, à Arles.
LEVERD, Courtier-Juré d'Assurances, à Paris.
LIKHOTCHOF, Vice-Amiral (Marine Impériale Russe).
LOIR, Lieutenant de vaisseau.
LOUTREL, Inspecteur général de la Compagnie d'assurances maritimes *la Foncière*, à Amiens.
LUCARDIE, Directeur de la *Maatschappij de Maas*, Rotterdam.
MADAMET, Directeur de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille.
MALLET, Sous-Directeur de la Compagnie d'assurances maritimes *la Foncière*.
MARBEC, Ingénieur des Constructions navales, à Toulon.
MAUPEOU D'ABLEIGES (DE), Directeur des Constructions navales, à Lorient.
MAW, Ingénieur, à Londres.
MEERTEN (H. VAN), Ingénieur en Chef des Constructions navales à l'Arsenal de Sœrabaya.
MENIER (Gaston), Ingénieur civil.
MENIER (Henri), Ingénieur civil.
MERVEILLEUX DU VIGNEAUX, Ingénieur aux Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Paris.
MILLAR (Sir W. Armstrong, Mitchell et C^o, à Newcastle).
MIRABAUD, Administrateur de la Compagnie des Chargeurs Réunis.
MOUTIER, Directeur général de la Compagnie d'assurances maritimes *la Foncière*.
MULLER, Capitaine au long cours.
NICLAUSSE, Administrateur-Délégué de la Société des Générateurs inexplosibles Collet.
NOEL (Charles), Ingénieur des Constructions navales en retraite.

MM.

- NORMAND (J.-A.), Ingénieur-Constructeur au Havre.
PAINVIN, Ingénieur aux Ateliers et Chantiers de la Loire, à Saint-Nazaire.
PANIZZI PRESTON, Ingénieur civil, à Londres.
PEGUIN, Ingénieur-Conseil, à Lyon.
PÉRIGNON, Ingénieur des Arts et Manufactures.
PERRÉGAUX, Ingénieur civil.
PETITHOMME, Ingénieur aux Ateliers et Chantiers de la Loire, à Nantes.
PIAUD, Ingénieur en chef du Bureau Veritas.
PIHLGREN, Directeur des Constructions navales, Stockholm.
PONCHEZ, Ingénieur de la Société des Générateurs Belleville, à Saint-Denis.
POUDAVIGNE, Agent de la Compagnie des Chargeurs Réunis, au Havre.
RISBEC, Ingénieur de la Marine, Directeur des Ateliers des Messageries maritimes, à la Ciotat.
ROCHE, Ingénieur des Constructions navales, à Lyon.
ROSSEL, Agent principal de la Société des Chantiers et Ateliers de la Gironde.
ROTHSCHILD (baron Arthur DE), Propriétaire de yachts.
ROTHSCHILD (baron Edouard DE), Propriétaire de yachts.
ROVERS, Inspecteur du Bureau Veritas, à Amsterdam.
RUEFF, Directeur des Messageries fluviales de Cochinchine (S. P.).
SABATHIER, Ingénieur au Bureau Veritas, Le Havre.
SATRE (Henri), Constructeur, à Lyon.
SCHNEIDER (Henri), Directeur des Établissements du Creusot.
SCIAMA, Directeur de la maison Breguet, à Paris.
SERRES (Contre-Amiral).
SIEBERS, Ingénieur des Constructions navales, Sørabaya.
STAPPER DE DUCLOS, Ingénieur-Constructeur, à Marseille (S. P.).
THIRION, Ingénieur-Constructeur.
THOMASSET (Vice-Amiral).
TURBOT, Fabricant de chaînes, à Anzin.
TWEDDELL, Ingénieur civil, Londres.
VASCONCELLOS (J. DE), Ingénieur des Constructions navales, à Lisbonne.
VERMAND, Ingénieur aux Ateliers et Chantiers de la Loire, à Saint-Nazaire.
VIVET, Ingénieur civil des Constructions navales, au Bureau Veritas.
WAHL, Ingénieur de la Marine, à Paris.
WETHERBEE, Élève libre à l'École d'Application du Génie Maritime.
WEYL.
WHITE (W.-H.), Assistant Controller et Directeur des Constructions navales de la Marine Royale d'Angleterre, Membre de la Société Royale de Londres.
WIDMANN, Directeur général de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Paris.
WOODWARD, Ingénieur des Constructions navales, Navy yard, à Washington.
-

QUATRIÈME SESSION

DE

L'ASSOCIATION TECHNIQUE MARITIME

25, 26 ET 27 JANVIER 1894.

La quatrième Assemblée générale des Membres de l'Association technique maritime, qui devait avoir lieu au mois de décembre 1893, s'est trouvée retardée de quelques semaines, à la demande des auteurs de plusieurs Mémoires importants. Elle a été ouverte le 25 janvier 1894, à 2^h de l'après-midi, 18, rue Daunou, à Paris, sous la présidence de M. de Bussy, Membre de l'Institut, Inspecteur général du Génie maritime en retraite.

Le Trésorier donne lecture du compte rendu de la situation financière de l'Association, qui s'établit comme ci-après, et les comptes sont approuvés.

État des recettes et dépenses arrêté au 31 décembre 1893.

Recettes.

Solde de l'exercice 1892 (arrêté au 25 novembre).....	2369,50 ^{fr}
Cotisations 1891.....	60
» 1892.....	3630
» 1893.....	2850
» de M. Brotherhood S. P.....	400
Vente du <i>Bulletin de l'Association</i>	534
Intérêts de 2 obligations Paris-Lyon-fusion 3 pour 100.....	26,96
	<u>9870,46</u>

Dépenses.

Loyer et gratification.....	350 ^{fr}
Afranchissement du <i>Bulletin</i> , ports de lettres, frais d'encaissement, etc.....	208,35
Note de l'impression du <i>Bulletin</i> n° 3.....	2454,95
» reliure.....	300
Impressions diverses.....	57,60
Couronne pour l'amiral Paris.....	39,50
Solde en caisse.....	6460,06
	<u>9870,46</u>

Conformément aux statuts, le Président met aux voix l'élection du Bureau et du Comité d'études pour l'année 1894. Les membres sortants sont tous réélus à l'unanimité.

L'Assemblée ratifie ensuite les admissions de membres nouveaux déjà prononcées provisoirement par le Bureau.

Après l'accomplissement de ces diverses formalités, le Président prend la parole pour souhaiter la bienvenue aux membres nouvellement admis dans l'Association et aux personnes étrangères qui ont bien voulu répondre à l'invitation qui leur a été faite d'assister à la séance. Il constate la prospérité de l'Association, qui, chaque année, recrute de nouveaux membres parmi les personnalités les plus marquantes du monde maritime, et le nombre toujours croissant des Mémoires présentés, qui ne peuvent manquer d'exercer une influence utile au progrès des constructions maritimes; il remercie les auteurs de ces Mémoires, qui y ont consacré une science et un temps précieux pour les affaires dont presque tous ont la lourde charge.

Revenant à l'importance des Mémoires qu'on va lire, il demande à compléter ceux d'entre eux qui ont le plus grand intérêt d'actualité par quelques mots nécessaires pour en faire saisir toute la portée pratique; les auteurs ont voulu être courts et ont supprimé les préliminaires. C'est ainsi que M. Daymard, en rendant compte des recherches qu'il a faites en vue d'améliorer le rendement des chaudières sur les paquebots de la Compagnie Générale Transatlantique; n'a pas parlé de la poussée que les constructions américaines ont reçue dans ces derniers temps. La Compagnie Internationale, qui a pris la tête du mouvement, est puissamment riche, grâce surtout à ce que, dit-on, elle a pour principal actionnaire la Compagnie des Chemins de fer de Pensylvanie, dont les bénéfices très considérables reviennent de droit à l'État lorsqu'ils dépassent un certain chiffre. Dans ces conditions, c'est surtout l'État qui subira les chances problématiques de cette création; mais il y trouve comme compensation des croiseurs auxiliaires de grande puissance. D'autre part, les Américains disposent de matériaux incomparables et n'hésitent pas à leur faire donner tout ce que l'on en peut attendre : ainsi ils élèvent la pression de leurs chaudières à 200 livres (14^{kg}), ce qui présentera peut-être des inconvénients avec le système actuel des chaudières employées sur les paquebots et les grands navires de guerre et les conduira probablement

à l'adoption des chaudières watertubulaires; ils profitent des qualités de leurs aciers pour en simplifier la mise en œuvre et construire plus économiquement; aussi la concurrence qu'ils préparent aux compagnies européennes peut devenir très sérieuse dans un avenir prochain.

Au sujet des observations présentées par M. Weyl sur les types récents de cuirassés, le Président rappelle que les circonstances de la perte du *Victoria* sont aujourd'hui parfaitement connues : bien que ce bâtiment eût une hauteur métacentrique très considérable, il a péri dans des conditions telles que la stabilité prévue ne pouvait pas le sauver. Il constate avec satisfaction que nous avons en France des cuirassés, tels que le *Magenta* et le *Neptune*, qui possèdent une admirable stabilité de plate-forme et se comportent d'une manière remarquable dans la grosse mer. Il cite le *Neptune*, qui, d'après l'attestation de son commandant, a rencontré dans le golfe de Gascogne des lames de 8^m de hauteur et a pu faire route avec la mer du travers, sans rouler et sans recevoir à bord autre chose que des embruns insignifiants. C'est incontestablement une très grande qualité au point de vue militaire qu'une telle stabilité de plate-forme, qui eût permis au bâtiment de manœuvrer ses canons et d'écraser des adversaires que de grands roulis auraient empêchés de se servir de leur artillerie.

Le Président termine son allocution en rendant hommage à la mémoire des membres éminents que la mort a enlevés à l'Association; il consacre en particulier quelques paroles à l'amiral Pâris, président d'honneur, qui, à de grandes qualités de cœur, joignait une profonde érudition et un esprit d'observation des plus remarquables. Il rappelle ensuite la fin tragique et toute récente de M. Mangini, Ingénieur de la Marine, dont la carrière s'annonçait brillante, lorsqu'il a trouvé la mort dans une explosion de chaudière de torpilleur : après avoir donné l'exemple du dévouement au devoir professionnel, il a fait preuve d'un courage héroïque au milieu des plus atroces souffrances, alors qu'il se sentait perdu sans espoir. Le Président demande à l'Assemblée de s'associer à l'expression de la profonde tristesse que lui inspire ce douloureux événement.

Après l'allocution de M. de Bussy, il a été procédé à la lecture et à la discussion des Mémoires présentés.

DES CONDITIONS DE MARCHE DES NAVIRES

A PETITE VITESSE,

PAR M. E. WIDMANN,

Directeur général des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

Il y a peu d'années encore, les expériences de recette des navires consistaient en un seul essai à grande vitesse.

En admettant implicitement que la consommation de charbon par cheval et l'utilisation de la puissance développée restaient constantes, on calculait les consommations par mille parcouru, aux différentes allures, depuis les plus grandes jusqu'aux plus faibles vitesses. Mais les résultats obtenus en service courant ne vérifiaient guère ces conclusions et s'en écartaient d'autant plus que la vitesse habituelle différait davantage de l'allure maxima.

Les mécomptes pouvaient bien s'expliquer en partie par la qualité inférieure du charbon, par l'état de saleté de la carène, par les imperfections inévitables de l'entretien et du service des machines, mais il fut reconnu néanmoins que d'autres causes pouvaient intervenir et l'on décida que les navires seraient essayés à des vitesses graduées. Les premiers résultats causèrent quelque surprise : ainsi, en 1876, on constata que la machine du *Friedland* qui avait consommé 1^{kg}, 20 par cheval en développant 4000^{chx}, en consommait 1^{kg}, 54 à 1070^{chx}.

En 1878, il fut reconnu que la machine du *Duquesne*, qui avait consommé 1^{kg}, 04 par cheval à 6260^{chx}, en consommait 1^{kg}, 31 à 1600^{chx}. Pour le *Duguay-Trouin*, la consommation passait de 1^{kg}, 252 à 4465^{chx} à 1^{kg}, 389 à 1180^{chx}.

Depuis cette époque, les essais de vitesse progressifs et les essais de consommation à diverses allures sont devenus habituels. De l'ensemble des faits constatés on peut tirer quelques conclusions, mais il reste encore bien des points à élucider en ce qui concerne la variation de la consommation par cheval et la variation de l'utilisation à mesure que la vitesse diminue.

Occupons-nous d'abord de la consommation de charbon par cheval indiqué.

Consommation par cheval.

Lorsqu'une machine passe de l'allure maxima à la plus faible vitesse, le régime des chaudières qui produisent la vapeur et celui des machines qui l'utilisent se modifient l'un et l'autre.

I. *Production de vapeur.* — Considérons, par exemple, un appareil évaporatoire dans lequel la combustion à grande allure est poussée à 5^{kg} ou 6^{kg} de charbon par mètre carré de surface de chauffe et diminuons graduellement la puissance. A mesure que la combustion sera moins intense, la production de vapeur par kilogramme de charbon augmentera. Cet effet se produira dans une mesure différente suivant le type et les proportions du générateur; d'une manière générale, il n'est pas exagéré d'admettre que, si la production est de 8^{kg} de vapeur à l'allure maxima, elle atteint 9^{kg} lorsque la consommation s'abaisse à 2^{kg} par mètre carré de chauffe. Au-dessous de cette limite, elle peut s'accroître encore, à condition que la chauffe soit très soignée. Ainsi, les résultats obtenus sur les torpilleurs récents, aussi bien avec les chaudières locomotives qu'avec les chaudières multitubulaires, montrent que la production a dû atteindre 11^{kg} ou peut-être 12^{kg}, alors que la combustion était voisine de 1^{kg} par mètre carré de surface de chauffe.

Mais, en service courant, il ne faudrait pas compter sur une production aussi élevée qui exige un soin excessif dans le service de la chauffe, dans le réglage de la couche de charbon et de l'arrivée d'air. En général, il ne faudrait pas descendre au-dessous de 1^{kg},50 par mètre carré de chauffe, soit 50^{kg} par mètre carré de grille, non seulement parce que la chauffe serait trop délicate, mais aussi parce que, si l'appareil a plusieurs corps, comme c'est le cas habituel, on se trouverait conduit à maintenir en activité un trop grand nombre de foyers et à employer sans avantage un personnel trop nombreux.

Si l'appareil n'a qu'une chaudière, on peut donc réduire la force dans le rapport de 3 à 1, en se bornant à charger moins la grille, mais, si l'on veut descendre au-dessous, il sera bon de diminuer la surface de grille en la couvrant en partie de briques.

S'il y a plusieurs corps de chaudières, on arrivera toujours à réduire la production de vapeur à ce que l'on voudra, en n'allumant qu'une partie des foyers.

D'une manière générale, on peut dire qu'au point de vue des chaudières, la diminution de l'allure est une cause d'économie de charbon.

Pour ce qui concerne l'utilisation de la vapeur dans les cylindres, la question n'est pas aussi simple.

II. *Utilisation de la vapeur dans les cylindres.* — Considérons, comme nous venons de le faire pour les chaudières, une machine développant toute sa

puissance, et imaginons qu'on abaisse graduellement l'allure, d'abord en réduisant l'introduction par la détente et enfin par l'étranglement de la valve.

La consommation de vapeur par cheval commencera par diminuer en raison de l'augmentation de la détente. Mais, à mesure que la vitesse diminuera, les pertes de travail dues à l'étranglement de la vapeur, à l'influence des parois, prendront de plus en plus d'importance, aussi viendra-t-il un moment où la consommation de vapeur par cheval, après avoir passé par un minimum, augmentera de nouveau, et cela dans une mesure que nous ne connaissons pas exactement, mais qui paraît être assez rapide aux plus faibles allures.

Si nous considérons les machines du type aujourd'hui en usage, machines à triple expansion marchant à une pression de régime de 12^{kg} environ, nous pouvons, en rapprochant les uns des autres les résultats des essais de consommation aux diverses allures, établir approximativement une relation entre la consommation de vapeur et le coefficient de détente, ce dernier coefficient étant défini par le rapport du volume rempli par un même poids de vapeur à la fin de la détente au volume de ce même poids au moment où il passe de la chaudière au cylindre. Cette relation, que nous donnons, sous toutes réserves, se résume dans le Tableau ci-dessous où nous indiquons également le volume final par cheval et par seconde. Ce dernier élément paraît jouer dans la question qui nous occupe un rôle important.

Coefficient de détente réelle.	Ordonnée moyenne du diagramme rapportée aux grands pistons.	Volume final par cheval et par seconde.	Rapport de la puissance développée à la puissance maxima.	Consommation de vapeur par cheval et par heure.
	kg	lit		kg
8,3	3,00	2,50	1,000	6,50
10,5	2,50	3,00	0,77	6,22
14,7	1,90	4,00	0,51	5,90
19,1	1,50	5,00	0,36	5,70
23,1	1,25	6,00	0,27	5,68
27,0	1,07	7,00	0,21	5,68
38,2	0,75	10,00	0,125	5,70

Il résulterait des observations résumées par le Tableau ci-dessus que :

Pour une machine de bâtiment de guerre dont le coefficient de détente à grande allure ne dépasse pas 8, si l'on descend jusqu'à $\frac{1}{7}$ ou $\frac{1}{8}$ de la force, le volume final par cheval et par seconde passe de 2^{lit},5 à 10^{lit}, et la consommation de vapeur diminue d'abord et reste constante ensuite. Lorsque le volume final par cheval s'élève au-dessus de 10^{lit}, la consommation de vapeur-cheval augmente. Comme nous l'avons dit, la loi de cette augmentation n'est pas connue, il serait intéressant, tout au moins au point de vue théorique, de l'établir par quelques expériences faites aux plus petites allures que les appareils puissent soutenir d'une manière régulière.

Lorsqu'un bâtiment possède deux hélices et deux machines, on peut concevoir que pour les allures où cette augmentation de consommation se manifeste l'on diminue la dépense de vapeur par cheval en n'employant qu'un seul des deux moteurs. Mais, d'un autre côté, l'utilisation diminue par le fait de l'emploi d'une seule hélice, de sorte que nous ne pouvons préjuger à partir de quelle limite ce mode de propulsion présentera un avantage pratique.

Les appareils Woolf ou compound à deux cylindres se trouvent pour les allures réduites dans des conditions inférieures à celles des machines à triple expansion. Lorsque, en effet, le volume final par cheval se trouve exagéré à un point tel que les courbes relevées sur le grand cylindre n'ont plus qu'une ordonnée insignifiante et deviennent en quelque sorte illusoires, on a en réalité une machine à un seul cylindre. Dans les mêmes conditions, la machine à triple expansion se transforme en une machine compound qui peut encore réaliser dans ses deux premiers cylindres une détente efficace.

Il semblerait donc que, pour les machines compound, toutes choses égales d'ailleurs, l'avantage de la marche à une seule hélice dût se manifester plus tôt et d'une manière plus marquée que pour les machines à triple expansion.

C'est, en effet, ce qu'ont montré les essais exécutés en décembre 1890 sur le *Duguesclin* (compound) et le *Tage* (à triple expansion).

Pour le premier de ces navires, à l'allure de 8 nœuds, correspondant environ à $\frac{1}{3}$ de la puissance maxima, la consommation par cheval a diminué dans le rapport de 1 à 0,75 lorsqu'on a employé un moteur au lieu de deux.

Sur le *Tage*, à 8 nœuds 5, allure correspondant environ à $\frac{1}{12}$ de la force, la consommation par cheval n'a diminué que dans le rapport de 1 à 0,88 par le fait de l'emploi d'un seul moteur au lieu de deux.

A la vérité, les résultats, peu nombreux jusqu'ici, des essais faits à petite vitesse sont parfois contradictoires. Cela tient, je crois, à ce que, à d'aussi faibles allures, toute cause d'erreur, tout fait anormal prend une importance relative considérable. Ainsi, un léger défaut d'étanchéité des bagues de piston qui n'affectera que faiblement la consommation à grande allure peut augmenter dans une forte mesure celle que l'on constate à petite vitesse. De même, les entraînements d'eau, les dispositions parfois défectueuses des cylindres qui n'assurent pas l'évacuation immédiate de l'eau entraînée ou déposée peuvent avoir sur les consommations à petite vitesse une influence importante. A ce point de vue, les machines à pilon ont des conditions bien supérieures à celles des machines horizontales.

Utilisation de la puissance développée.

Nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que de la consommation de charbon par cheval indiqué.

Mais un point également important est d'examiner comment la puissance indiquée que l'on obtient est utilisée pour la propulsion du navire. A cet

égard, les conditions de marche de la petite vitesse sont également différentes de celles de la grande allure ou de la marche moyenne.

Supposons, comme nous l'avons fait précédemment, que, un navire étant à grande vitesse, on réduise progressivement son allure. L'utilisation, c'est-à-dire le coefficient m de la formule $v = m \sqrt[3]{\frac{F}{B}}$ augmentera d'abord assez rapidement.

Il en est ainsi du moins pour les grands navires et si l'effet inverse se manifeste parfois, ce ne peut être que pour des navires de petit déplacement, comme les torpilleurs, pourvus de machines très puissantes.

Ces navires se trouvent, à grande vitesse, dans des conditions toutes spéciales qui modifient les conditions de la propulsion. Or, un tel régime de marche ne saurait être atteint pour des navires d'un déplacement de 200 ou 300 tonnes et nous ne l'examinerons pas ici. D'une manière générale on peut dire que l'utilisation augmente lorsque la vitesse diminue. Si donc la consommation de charbon par cheval restait constante, la dépense par mille parcouru diminuerait plus rapidement que le carré de la vitesse.

Cette amélioration de l'utilisation se constate à partir des grandes vitesses jusque dans les limites des vitesses usuelles, par exemple depuis 20 nœuds jusqu'à 10 nœuds. Au-dessous, l'utilisation cesse de s'améliorer et diminue à tel point qu'à 5 ou 4 nœuds elle est certainement inférieure à ce qu'elle était à 20 nœuds. A quoi tient cette diminution? Ce n'est point aux conditions hydrauliques de la propulsion; les expériences de traction faites sur des navires ou des modèles démontrent en effet que, si ces dernières étaient seules en jeu, l'utilisation irait constamment en augmentant jusqu'à ce que la vitesse devienne nulle. Elle tient, au contraire, à ce que, dans ces faibles vitesses, intervient un élément que l'on n'est guère appelé à considérer en général: c'est la variation du rendement du moteur, ou, en d'autres termes, l'influence relativement plus grande aux petites vitesses des résistances passives de la machine. L'effet du rendement de la machine, qui apparaît d'une manière si frappante aux petites vitesses, ne se manifeste guère aux allures moyennes pour diverses raisons: sa valeur (qu'il est d'ailleurs impossible de mesurer) est élevée et à peu près la même pour toutes les machines bien montées (ce qui est le cas général de nos machines françaises); elle n'influence la valeur de m que dans une mesure assez faible pour que la loi générale de la variation de ce coefficient ne présente rien d'anormal.

Toutefois, cette considération du rendement est loin d'être négligeable. Ainsi, nous voyons dans le rapport présenté par M. White aux Naval Architects de 1893 sur les expériences récentes de plusieurs navires de la Marine royale que le mécompte constaté dans les essais du *Blake* en novembre 1891 est attribué en grande partie à une perte de travail due aux frottements anormaux de son palier de butée.

Je ne connais pas dans notre Marine d'exemple où l'influence des ré-

sistances passives se soit manifestée dans de telles proportions; toutefois, il est certain que l'utilisation s'est souvent trouvée augmentée à la suite de l'amélioration des frottements résultant de la continuation des essais et des perfectionnements de détail qui ont pu être apportés aux mécanismes.

En général, l'influence des résistances passives, bien qu'elle ne soit négligeable à aucune allure, n'apparaît d'une manière visible que lorsque la puissance indiquée étant relativement faible, ces résistances absorbent une partie importante, soit par exemple le tiers ou le quart du travail développé sur les pistons.

Cherchons, à défaut de mesures précises, à évaluer le rendement aux diverses allures.

Lorsque l'on trace une courbe représentant les puissances successives F d'une machine, comme ordonnées en fonction des nombres de tours pris comme abscisses, on remarque que cette courbe prolongée du côté des petites vitesses ne paraît pas devoir passer par l'ordonnée O pour une vitesse nulle. Ce fait se remarque mieux encore si l'on trace la courbe des ordonnées moyennes p en fonction des nombres de tours. A la vérité, les résultats des essais exécutés en France ne permettent pas de tracer d'une manière bien précise cette portion de la courbe parce que les essais progressifs n'ont guère été faits au-dessous de la vitesse de dix nœuds. Les documents anglais nous donnent à cet égard des indications plus complètes. Je citerai notamment le rapport de M. Wright sur les essais de l'*Iris* (*Naval Architects*, 1879) et le Mémoire de M. Froude de 1876, où ces courbes sont tracées sous une forme un peu différente de celle que j'indique, mais équivalente en principe.

Cette circonstance montre que, lors même que la vitesse de la machine tend vers zéro, l'ordonnée moyenne doit conserver une valeur suffisante pour vaincre les résistances passives dont l'effet équivaut à un couple résistant. La valeur p_i de l'ordonnée moyenne correspondant à la vitesse zéro sert de mesure aux résistances *initiales*, lesquelles correspondent au frottement des bagues de piston, des presse-étoupes, etc. Ces résistances subsistent quelle que soit l'allure de la machine et absorbent une portion du travail indiqué proportionnellement au nombre de tours, soit np_i . De plus, lorsque la machine travaille, l'ordonnée moyenne effectuée atteint une valeur p de plus en plus élevée, la résistance passive augmente par suite de la pression plus grande qui s'exerce sur certains organes comme les articulations des pièces mobiles, les coussinets de l'arbre de couche, les tiroirs. Cette augmentation est proportionnelle à celle de l'ordonnée moyenne réalisée.

En résumé, le travail absorbé par les résistances passives doit être représenté par une expression de la forme

$$T_p = 3,49 D^2 C n [p_i + K(p - p_i)].$$

Le coefficient de rendement est alors exprimé par le rapport

$$r = 1 - \frac{p_i + K(p - p_i)}{p}.$$

D'autre part, le rapport de la puissance développée par les machines tournant à *vide* à la puissance maxima a pour valeur (le nombre de tours étant le même)

$$r_1 = \frac{p_i}{p_m}.$$

Quelles sont les valeurs qu'il faut attribuer à p_i et K pour les machines aujourd'hui en usage?

Les documents d'expérience ne sont malheureusement pas nombreux. Le rapport déjà cité de M. Wright sur les essais de l'*Iris* donne pour $\frac{p_i}{p_m}$ la valeur 0,08. M. Froude l'avait évaluée à 0,13. Cette dernière valeur paraît trop élevée pour les machines modernes. D'autre part, nous trouvons pour les machines à terre des déterminations fréquentes des rapports r et r_1 . Notamment nous voyons que M. Walther Meunier, à la suite de nombreux essais au frein, évalue le rendement à 0,911 pour machines compound, à 0,88 pour machines à un seul cylindre (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, février et mars 1889). Cet ingénieur signale encore (*Bulletin* de juin de 1891) qu'une machine à triple expansion capable de développer 750^{ch} en pleine charge en absorbe 76,50 dans la marche à vide. Si cette machine, au lieu de fournir seulement la puissance modérée que l'on doit demander à une machine d'atelier, avait été soumise au régime des machines marines à grande allure, elle aurait développé au même nombre de tours, plus de 1000^{ch}. D'un autre côté, les résistances eussent été augmentées par le fait de la plus grande longueur de la ligne d'arbres et de l'indépendance des pompes à air : aussi peut-on dire que cette expérience confirme sensiblement la valeur 0,08 déjà trouvée sur l'*Iris* pour le rapport $\frac{p_i}{p_m}$.

En somme, les divers résultats rapprochés les uns des autres paraissent justifier les valeurs $p_i = 0^{\text{kg}}, 20$ $K = 0,07$.

Le rendement varierait donc comme l'expression

$$r = 1 - \frac{0^{\text{kg}}, 20 + 0,07(p - 0^{\text{kg}}, 20)}{p}.$$

Supposons que p (ordonnée moyenne rapportée à la surface des pistons de détente) soit égal à 3^{kg}, valeur qui n'est guère dépassée dans les machines actuelles, on a

$$r = 0,862.$$

Lorsque l'allure diminue, on a

$$\begin{array}{ll} \text{pour } p = 2^{\text{kg}} \dots & r = 0,837 \\ \text{» } p = 1^{\text{kg}} \dots & r = 0,744 \\ \text{» } p = 0^{\text{kg}}, 5 \dots & r = 0,558 \end{array}$$

Le rendement diminue rapidement lorsque la puissance ou, ce qui est la même chose, lorsque l'ordonnée moyenne devient très petite. De là une dimi-

nution de l'utilisation qui l'emporte sur l'augmentation qui résulterait sans doute des conditions hydrauliques de la marche du navire dans l'eau.

Comme exemple, considérons un appareil à deux hélices capables de développer 8000^{chx} à 100 tours, l'ordonnée moyenne étant de 3^{kg} , la puissance effective transmise à l'hélice est de 6896^{chx} . Lorsque la puissance indiquée s'abaisse à 1000^{chx} , l'ordonnée moyenne étant $0^{\text{kg}}, 75$ et le nombre de tours 50, la puissance effective n'est que de 682^{chx} , c'est-à-dire moins de $\frac{1}{10}$ de ce qu'elle était dans le cas précédent, alors que la puissance indiquée est $\frac{1}{8}$ de sa valeur primitive. A cette allure de 1000^{chx} indiqués, il y a donc environ 318^{chx} perdus en résistances passives.

Si, au lieu de développer 1000^{chx} indiqués à l'aide des deux machines, on voulait réaliser la même puissance avec un seul appareil, le nombre de tours serait environ 60 et l'ordonnée moyenne $1^{\text{kg}}, 25$. Dans ce cas, le rendement serait $r = 0,781$; le nombre de chevaux effectivement transmis, 781, et le nombre de chevaux perdus 219 seulement.

On gagne donc 100^{chx} environ à ne faire marcher qu'une machine. Mais, d'un autre côté, on perd sur l'utilisation parce que l'on n'a plus qu'une hélice au lieu de deux, et que pour conserver la route droite il est nécessaire de maintenir 6° à 8° de barre, ce qui introduit une résistance supplémentaire à la marche. En général, ces deux effets l'emportent sur le bénéfice résultant de la réduction des résistances passives, en sorte que, si la marche à une seule hélice produit une économie définitive de charbon, ce fait est dû uniquement à la diminution de la consommation par cheval de la machine.

A partir de quelle vitesse cette économie se manifeste-t-elle d'une manière appréciable? Pour nos croiseurs actuels, doués de vitesses maxima de 19 à 20 nœuds, il semble, d'après le peu d'expériences que nous possédons, que ce soit au-dessous de 10 nœuds seulement. C'est notamment ce qui résulte des expériences comparatives à une et à deux hélices exécutées par le *Surcouf* et par l'*Isly* à la fin d'octobre 1893. Par ces deux navires, il a été constaté que la consommation par mille parcouru à 10 nœuds était très sensiblement la même et que les puissances indiquées nécessaires pour obtenir cette vitesse étaient peu différentes dans les deux cas. La marche à une hélice ne paraît donc pas susceptible de rendre en pratique de réels services, sauf dans les cas où l'on voudra réduire le personnel employé à la surveillance de la machine ou bien visiter un des moteurs pendant que l'autre sera en fonction.

En sera-t-il différemment pour les appareils à trois hélices qui auront l'avantage de pouvoir conserver la barre droite lorsque l'hélice milieu fonctionnera seule? C'est un point que de prochaines expériences élucideront.

Dans tous les cas, il faut, bien entendu, que l'hélice ou les hélices ne travaillant pas soient affolées et puissent tourner sous l'action de l'eau de façon à n'opposer à la marche qu'une résistance réduite. Cette obligation conduira à admettre, autant que possible, un rapport élevé du pas au diamètre pour

les hélices latérales. On sait, en effet, que pour qu'une hélice, à l'instar d'une vis, soit réciproque, c'est-à-dire qu'elle puisse être actionnée par un courant d'eau qui l'attaque par sa face avant, il faut qu'elle se présente à ce courant sous une incidence suffisante. Quelle est cette incidence nécessaire pour que l'hélice soit susceptible de tourner et de prendre une vitesse de rotation sensiblement correspondante à sa vitesse de translation? Je ne saurais le dire, mais il n'en est pas moins vrai que dans le calcul des hélices latérales on devra choisir parmi les diverses solutions qui peuvent paraître équivalentes au point de vue de la propulsion, celle qui conduit au plus grand rapport du pas au diamètre.

Résumé.

En résumé, on voit que pour la marche à petite vitesse de nos appareils puissants de bâtiments de guerre, on n'a point à s'occuper des chaudières qui se prêteront toujours à fournir une puissance aussi limitée qu'on le voudra. Les machines à triple expansion, aujourd'hui en usage, permettent de réduire la puissance, dans le rapport de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$, sans exagérer la consommation de charbon, à condition que l'on ait soin de ne pas donner aux cylindres de détente des dimensions calculées uniquement en vue de produire la puissance maxima dans les meilleures conditions et qui seraient alors trop grands aux petites allures.

La question du rendement des machines mérite une sérieuse attention. Peut-être y a-t-il quelques progrès à faire de ce côté. En tout cas, conviendrait-il d'élucider les notions encore incomplètes que l'on possède sur ce point en continuant les essais progressifs jusqu'aux plus petites vitesses, soit 5 et 4 nœuds, et en déterminant la part de travail absorbée par le fonctionnement de la machine à vide.

La marche à une seule hélice dans les bâtiments qui en possèdent deux ne paraît pas présenter d'avantage appréciable aux petites vitesses habituelles; on doit cependant en prévoir l'éventualité et disposer les hélices de façon à faciliter leur rotation lorsqu'elles sont affolées.

Discussion du Mémoire de M. Widmann.

M. DE BUSSY fait remarquer que les expériences du *Surcouf*, dont parle M. Widmann, ont été faites dans des conditions défavorables qui ne permettent pas de considérer les résultats obtenus comme concluants : d'abord la carène du *Surcouf*, comme celle de l'*Isly*, était chargée de végétations sous-marines, ce qui fausse les chiffres absolus; en second lieu, les essais du *Surcouf* ont été faits par mer très belle avec deux hélices, tandis que pendant les essais à une hélice la mer était assez houleuse pour réduire la vitesse, d'où

il semble résulter que les résultats à espérer de la marche à une seule hélice peuvent être plus favorables que ne l'indiquent les chiffres cités.

En ce qui concerne la proportion du pas au diamètre qu'il faut adopter pour permettre à une hélice de tourner sous l'action de la vitesse, lorsqu'elle est débrayée, on a pu constater sur le cuirassé le *Redoutable* que le rapport 1, 16 est suffisant. Il paraît difficile de tomber au-dessous de ce chiffre, et on serait certainement dans de meilleures conditions avec un rapport plus élevé, mais on éprouve alors d'autres inconvénients sur lesquels il n'est pas besoin d'insister.

RÉSULTATS OBTENUS

PAR

L'EMPLOI DU TIRAGE FORCÉ EN CENDRIERS FERMÉS

DANS LES ATELIERS ET SUR DIVERS NAVIRES

DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE TRANSATLANTIQUE,

PAR M. V. DAYMARD,

Ingénieur en chef de la Compagnie Générale Transatlantique.

Depuis déjà plus de dix années, il a été entrepris et poursuivi régulièrement à la Compagnie générale Transatlantique une série d'essais et d'applications de tirage forcé, dont la relation sommaire nous a paru de nature à intéresser les Membres de cette Association.

Avant d'entrer en matière et comme épilogue de la discussion soulevée entre deux ingénieurs anglais, au sujet de la priorité de l'emploi, sur les chaudières marines, du tirage forcé en cendriers fermés, nous croyons devoir rappeler que le brevet pris à ce sujet par M. Audenet, mon prédécesseur à la Compagnie Générale Transatlantique, porte la date du 15 décembre 1881, alors que le brevet le plus ancien pris en Angleterre, à notre connaissance, est du 12 décembre 1882.

En faisant cette remarque, nous n'entendons taxer absolument personne de contrefaçon ou de copie. Nous avons eu, au contraire, l'occasion de constater personnellement que M. Howden, en particulier, avait poursuivi ses travaux d'une façon tout à fait indépendante et personnelle.

Il semble assez probable qu'il a pu en être de même de son compétiteur, M. Fothergill, car, dans les questions industrielles et même dans les questions scientifiques, il arrive qu'à un moment donné certains progrès sont dans l'air; il y a ce qu'on pourrait appeler des *ambiances*.

Il n'est pas étonnant, en effet, que plusieurs esprits ayant passé par le même entraînement, également au courant des résultats acquis et des besoins nouveaux dans une certaine branche de connaissances, arrivent au même moment à proposer des perfectionnements analogues.

Quoi qu'il en soit, c'est à la suite d'études remontant à 1873 et d'expériences faites sur des chaudières d'ateliers, dans le courant de 1880, que M. Audenet prit son premier brevet, dans lequel il revendiquait comme nouveautés :

1° *Surtout*, l'emploi d'une porte de foyer (et aussi de cendrier et de boîte à fumée) disposée de telle sorte qu'on pût obtenir le tirage en soufflant de l'air dans le cendrier fermé, sans que la flamme ou la fumée puisse jamais être renvoyée en dehors.

Le moyen consistait dans l'usage de deux portes séparées par un intervalle mis en communication avec la soufflerie, au moyen d'un tuyau muni d'une vanne, permettant d'obtenir sur la porte, en contact avec le foyer ou avec les gaz de la combustion, une pression plus forte à l'extérieur qu'à l'intérieur, de sorte que les gaz et la flamme ne pussent sortir par les interstices et fussent même refoulés en dedans.

En outre, le jeu d'un mécanisme fermait automatiquement la conduite principale de vent toutes les fois qu'on ouvrait la première porte, de sorte qu'à l'ouverture de la seconde, il n'y avait plus de pression dans le foyer.

2° La subdivision, au moyen de cloisons, des faisceaux tubulaires des chaudières type marine, de façon à tripler le parcours des gaz en même temps qu'on réduisait au tiers la section offerte à leur écoulement.

3° Un système de chargement mécanique.

4° Une combinaison de cheminée, destinée à rejeter à l'extérieur les escarbilles et les flammèches.

Disons de suite que ces trois derniers dispositifs n'ont pas été sanctionnés par la pratique.

Les expériences à bord furent précédées de divers essais à terre. L'un des plus intéressants fut fait en 1882, à Penhoët, sur une chaudière de l'atelier d'ajustage, cylindrique du type ordinaire marine, à foyer intérieur et tubes en retour, ayant les dimensions suivantes :

Diamètre moyen	m
Longueur moyenne.....	2,200
Longueur.....	2,600
Tubes. {	1,800
	Diamètre extérieur... 0,086
	Diamètre intérieur..... 0,084
Nombre.....	66
Diamètre du foyer	0 ^m ,900
Surface de chauffe totale.....	36 ^m ,69
Pression de régime	3 ^{kg}

On fit deux catégories d'essais : les uns au tirage naturel avec une grille de 0^m,800 de long; les autres au tirage forcé avec grille réduite de 0^m,400, et en se servant d'un ventilateur et d'un gueulard disposé pour recevoir le vent par le cendrier, avec admission entre les deux portes du foyer.

Les essais au tirage forcé furent exécutés de deux manières différentes :

1° Sans rien modifier au parcours des gaz;

2° En faisant parcourir aux gaz trois fois la longueur des tubes avant de s'échapper par la cheminée : on subdivisa, pour cela, le faisceau tubulaire au moyen de cloisons en briques réfractaires, montées dans la boîte à feu et dans la boîte à fumée, comme il est indiqué sur la *Pl. I*.

Ces diverses expériences mirent en évidence : d'une part, un accroissement de puissance productrice d'environ un tiers, par l'emploi du tirage forcé, sans diminution de la quantité de vapeur produite par kilogramme de charbon; et, de l'autre, un bénéfice de rendement du combustible d'environ 10 pour 100, obtenu par le triplement du parcours des gaz, à surface de chauffe égale.

Le Mustapha. — M. Audenet entreprit ensuite l'application du système sur un navire. Le bâtiment choisi fut le côtier le *Mustapha*, dont les chaudières se prêtaient d'autant mieux à des essais comparatifs qu'elles étaient semblables à celles du *Dragut* employé au même service.

On modifia les chaudières du *Mustapha*, de façon à réaliser les mêmes conditions que dans l'essai précédemment fait à terre : les tubes furent divisés en trois faisceaux par des cloisonnages horizontaux pratiqués dans les boîtes à feu et les boîtes à fumée.

On installa un ventilateur Allen pour fournir l'air nécessaire à la combustion par l'intermédiaire de conduits en tôle placés sous les parquets.

Les portes des foyers reçurent divers perfectionnements dont les premiers essais avaient montré l'utilité. L'appareil évaporatoire du *Mustapha* se composait de deux corps simples à section oblongue arrondie en haut et en bas, avec partie plate au milieu.

Éléments principaux :

	Nouvelles chaudières.	Anciennes chaudières.
Hauteur.....	^m 4,40	^m 4,40
Largeur.....	2,60	2,60
Longueur.....	2,90	2,90
Surface de chauffe par corps.....	88	76
» de grille »	1,600	3,200
Dimension des tubes. {	Longueur.....	2,000
	Diamètre.....	50/55 ^{mm} 61/68 ^{mm}

Diverses circonstances retardèrent les premiers essais jusqu'en 1885.

Voici quels furent les résultats constatés au bout d'un certain temps de fonctionnement :

On marchait avec une pression d'air d'environ 20^{mm} d'eau dans les cendriers et une allure de combustion de 138^{kg} de charbon par mètre carré de grille, correspondant d'ailleurs seulement au même total de charbon brûlé qu'antérieurement, la grille ayant été réduite de 0^m,800 à 0^m,400.

Signalons, en passant, que l'allure de combustion par mètre carré de grille

n'a de signification que si l'on fait connaître en même temps la proportion de la surface de grille, relativement aux autres éléments de la chaudière, notamment à la surface de chauffe (caractéristique de la puissance d'absorption de la chaleur des gaz), et aussi à la section tubulaire (caractéristique de la capacité d'écoulement des produits de la combustion).

Quoi qu'il en soit, la puissance développée fut de 427^{ch} en moyenne, alors que, sur le *Dragut*, elle était de 414^{ch}, et la consommation par cheval tomba de 1^{kg}, 15 à 0^{kg}, 918. Le tirage forcé, combiné avec l'allongement du parcours des gaz, donnait donc environ 20 pour 100 d'économie, tout en maintenant largement la même puissance.

Un pareil résultat eût bien été de nature à entraîner une modification semblable, et la substitution du tirage forcé au tirage naturel sur toute la flotte de la Compagnie.

Malheureusement, dans la pratique, et même au bout d'un temps assez court, le dispositif adopté sur le *Mustapha* présenta de tels inconvénients qu'il fallut renoncer à la subdivision du faisceau tubulaire et au triplement du parcours des gaz.

Indépendamment de la difficulté de nettoyage des tubes et du maintien en bon état des cloisons de séparation, il se manifesta un défaut qu'on ne put parvenir à atténuer suffisamment : les portes de boîtes à fumée rougissaient et le service dans la chambre de chauffe n'était pas supportable.

Dragut. — Cependant, en 1886, les chaudières du *Dragut* ayant besoin d'être changées, par suite d'usure, je proposai à l'Administration de la Compagnie Transatlantique d'appliquer au nouvel appareil évaporatoire le dispositif imaginé par M. Audenet, que nous avions eu la douleur de perdre en 1885, et de chercher à réaliser au moins une partie des avantages qu'il avait eus en vue.

Dans les chaudières de rechange, qui devaient d'abord être semblables aux précédentes, et dont la construction était en cours, nous renoncâmes aux cloisonnements pratiqués dans les boîtes à feu et à fumée du *Mustapha*, mais on adopta des tubes d'un plus petit diamètre, 50/55 au lieu de 55/61, ce qui permit de porter la surface de chauffe de 176^m à 196^m (augmentation de 12 pour 100).

En même temps, dans l'installation de la soufflerie, on améliora, suivant les indications de l'expérience, le mécanisme d'obturation de l'arrivée d'air aux cendriers, pendant la période de chargement.

Dans ces conditions, on obtint avec le nouvel appareil, et à puissance égale, une économie qui variait de 6 à 13 pour 100 (suivant les circonstances) par rapport aux anciennes chaudières à tirage naturel.

Mais il n'y avait pas de bénéfice d'encombrement et, en ce qui concerne le poids, on subissait une certaine perte, puisque les faisceaux tubulaires étaient sensiblement plus lourds que les anciens.

Désireux, en vue de l'établissement des plans de paquebots nouveaux,

d'être fixé sur ce qui pouvait être gagné par le tirage forcé en poids et en encombrement, je profitai d'une occasion qui se présenta de remplacer les deux chaudières du *Mustapha* arrivées au terme de leur existence, par une chaudière unique que nous nous trouvions avoir disponible en magasin.

Le changement eut lieu à la fin de 1886. Le nouvel appareil évaporatoire, relativement à l'ancien, présentait un encombrement horizontal d'environ 38 pour 100 plus faible et un poids de 30 pour 100 inférieur; le soufflage y fut installé dans les mêmes conditions que sur le *Dragut*.

On put obtenir à peu près la même puissance que sur ce dernier navire; mais le rendement fut moindre que sur le *Dragut* et se montra à peine supérieur (2 à 3 pour 100) à celui que donnait le tirage naturel. Il faut dire que la nouvelle chaudière du *Mustapha* primitivement destinée au *Le Chatelier*, qui marchait sans soufflerie, avait des tubes d'assez fort diamètre, incontestablement inférieurs pour le tirage forcé à des tubes de plus faible section.

Vers la même époque, deux autres essais furent faits sur les navires *la Désirade* et *le Washington*.

1° *Désirade*. — On installa sur toutes les chaudières de la *Désirade* (deux corps comportant six foyers) le tirage soufflé dans les mêmes conditions qu'à bord du *Dragut*.

La puissance passa de 785^{chx} à 1110^{chx}, l'allure de la combustion au tirage forcé étant de 125^{kg} par mètre carré de grilles.

2° *Washington*. — Le *Washington* reçut aussi des installations analogues, mais seulement sur deux de ses chaudières, dont le nombre total était de quatre, et l'on réalisa une augmentation de trois tours, dans l'allure qui de 64 passa à 67, le rendement du kilogramme de charbon restant à peu près le même.

Ces résultats étaient encore encourageants; il se manifesta bien quelques inconvénients dans le fonctionnement des ventilateurs, mais il ne semblait pas y avoir là de difficultés insurmontables. Quant aux détériorations des chaudières, il ne se présentait rien d'anormal aux allures modérées auxquelles on marchait.

Entre temps, les expériences à terre continuaient. Nous profitâmes de l'obligation où nous étions en 1887 d'augmenter la production de la vapeur à l'atelier de chaudronnerie. A deux chaudières d'un type courant, nous dûmes en ajouter une troisième que je fis établir dans les proportions paraissant les meilleures pour le tirage forcé. Les résultats obtenus par la comparaison de cette chaudière avec les deux autres sont d'autant plus à signaler que les expériences furent faites avec un très grand soin par M. Delévaque.

Voici les éléments des deux catégories de chaudières mises en comparaison :

A. — Chaudières à tirage naturel, deux corps semblables.

Charge des soupapes.....	5 ^{kg}	
Surface de la grille.....	(par corps)	S = 0 ^m ,9720
Surface de chauffe {	directe 7 ^m ^q , 1103	» = 7,31 S.
	tubulaire 24,9200	» = 25,63 S.
	totale 32,0303	» = 32,94 S.
Section libre du cendrier 0 ^m , 1920	»	l = 0,20 S.
Diamètre du foyer	»	0,900
Longueur des grilles	»	0,800
Section libre de l'autel 0, 2295	»	= 0,23 S.
Section des tubes 0, 2630	»	= 0,27 S.
58 tubes de 76 ^{mm} × 84 ^{mm} et 1,80 de longueur entre plaques.		

B. — Chaudière à tirage forcé (un seul corps).

Charge des soupapes.....	5 ^{kg}	
Surface de la grille.....		S' = 0 ^m ,99
Surface de chauffe {	directe 7,28.....	= 7,35 S'.
	tubulaire 38,39.....	= 38,77 S'.
	totale 45,67.....	= 46,13 S'.
Diamètre du foyer.....		0,900
Longueur des grilles.....		0,400
Section libre de l'autel 0, 1925.....		= 0,19 S'.
Section des tubes 0, 1577.....		= 0,16 S'.
164 tubes de 35 ^{mm} × 40 ^{mm} et 2 ^m , 10 de longueur entre plaques.		

Un ventilateur, actionné par une courroie passée sur l'une des poulies de la transmission générale de l'atelier, envoyait par une canalisation en tôle, de l'air dans le cendrier fermé de la chaudière.

Résultats des essais. — Du 7 au 13 mars 1887, la chaudière à tirage forcé resta en pression, fournissant la vapeur à la machine motrice et à un petit cheval qui fonctionnait par intermittence.

Dans l'atelier, toutes les machines-outils, la foreuse, le pont roulant et les pompes des accumulateurs étaient en marche. La semaine suivante, du 14 au 20 mars, les deux chaudières à tirage naturel furent allumées, débitant la vapeur nécessaire au service courant de l'atelier.

Chaque jour on mesura l'eau d'alimentation et l'on pesa le charbon consommé pendant les 10 heures de travail; l'analyse de la fumée fut faite plusieurs fois par jour et des expériences calorimétriques fixèrent la température des gaz, à la naissance de la cheminée. Voici les chiffres obtenus :

Tirage forcé avec une chaudière. (Essais du 7 au 15 mars 1887.)

Dates.	Pression de la vapeur.	Eau vaporisée		Charbon brûlé par heure			Températ. des gaz de la cheminée.	Révolutions par minute		Pression dans le cendrier.
		Totale.	par	Total.	par mètre carré			de la machine.	des venti- lateurs.	
			kilogramme		de	de				
			de charbon.		grille.	chauffe.				
	kg	lit	lit	kg	kg	kg	°			mm
7 mars.	4,600	12717	9,300	137	136	2,95	256	50,0	»	61
8 mars.	5,230	10856	8,040	136	135	2,95	267	50,6	»	69
9 mars.	5,360	11761	7,840	151	150	3,25	271	50,9	»	57
10 mars.	5,130	11159	7,910	142	141	3,10	268	50,7	»	61
11 mars.	5,100	11504	8,100	142	141	3,10	270	52,7	»	61
12 mars.	5,230	11327	7,800	146	144	3,15	267	52,7	»	60
Moyennes..	5,108	11554	8,165	142	141	3,05	266	51,15	772	61

Il y avait en moyenne dans la fumée :

6,5 pour 100 d'acide carbonique,
0,75 » d'oxyde de carbone,
11,5 » d'oxygène,
81,25 » d'azote.

Du 14 au 20 mars, une seconde série d'expériences donne les résultats suivants :

Tirage naturel avec deux chaudières. (Essais du 14 au 20 mars 1887.)

Dates.	Pression de la vapeur.	Eau vaporisée		Charbon brûlé par heure par mètre carré			Températ. des gaz de la cheminée.	Révolutions de la machine.
		totale.	par	total.	grille.	de chauffe.		
			kilogramme de charbon.					
	kg	lit	lit	kg	kg	kg	°	
14 mars.	5,060	13239	6,960	190	95	2,87	241	51,6
15 mars.	5,130	13290	6,990	190	95	2,88	236	54,7
16 mars.	4,700	12570	7,390	170	85	2,60	234	46,6
17 mars.	4,700	12611	7,410	170	85	2,60	239	52,1
18 mars.	4,660	12818	7,120	180	90	2,72	256	51,2
19 mars.	4,730	14696	7,940	180,5	92,5	2,80	263	49,3
Moy.....	4,830	13204	7,301	180,9	90,40	2,72	245	51,08

Les prises de gaz donnèrent pour la composition moyenne des fumées :

6,8 pour 100 d'acide carbonique,
0,5 » d'oxyde de carbone,
12,1 » d'oxygène,
80,4 » d'azote,

chiffres peu différents de ceux fournis par la première série d'essais.

Dans la seconde semaine, il fallut, pour faire marcher l'atelier, 14 pour 100

de vapeur de plus que dans la précédente, et la dépense de charbon a excédé celle de la première semaine d'environ 28 pour 100.

Le rendement en eau vaporisée par kilogramme de charbon était de 12 pour 100 plus faible dans les chaudières à tirage naturel que dans celles à tirage forcé; mais cette différence pouvait tenir à l'activité très grande qu'il avait fallu donner à la combustion dans les premières pour fournir la quantité de vapeur que réclamaient les besoins de l'atelier; aussi était-il nécessaire de compléter ces essais par une double expérience à *vapeur perdue* dont voici les résultats :

	Une chaudière à tirage forcé.	Deux chaudières à tirage naturel.
Date de l'essai	21 mars	23 mars
Durée de l'essai du vaporisateur	6 heures	6 heures
Pression de la vapeur	3 ^{kg} , 800	3 ^{kg} , 700
Température dans la cheminée	249°	209°
Pression dans le cendrier	54 ^{mm} d'eau	
Eau vaporisée { en 6 heures	6927 ^{lit}	6821 ^{lit}
{ par kilogramme de charbon ...	8 ^{lit} , 24	8 ^{lit} , 12
Charbon brûlé par heure { Total	140 ^{kg}	140 ^{kg}
{ par mètre de grille ...	140 ^{kg}	70 ^{kg}
{ par mètre de chauffe .	»	2 ^{kg} , 12
Nombre de tours du ventilateur	775	»

Conclusion. — De ce qui précède, il ressort que la chaudière, fonctionnant à tirage forcé et proportionnée dans ce but, équivaut à peu près aux deux chaudières à tirage naturel, fonctionnant à l'allure de combustion correspondant au rendement maximum qui reste d'ailleurs au moins aussi élevé avec la chaudière au tirage forcé.

De plus, cette dernière ne pèse que 14 tonnes et ne cube que 20^{mc}, alors que les deux chaudières à tirage naturel ensemble pèsent 23^t, 600 et cubent 37^{mc}, 700, soit un bénéfice de 40 pour 100 en poids et 47 pour 100 en volume.

Ce résultat était trop avantageux pour que, malgré certaines appréhensions au sujet du bon fonctionnement des ventilateurs dans un service prolongé à la mer et relativement à la détérioration plus rapide des chaudières, on ne continuât pas les expériences.

Dans le cours de l'année 1887, le paquebot *le Lafayette*, ayant à changer son appareil évaporatoire, qui se composait de deux groupes de chacun trois chaudières doubles, comportant en tout vingt-quatre foyers, nous décidâmes d'installer le tirage soufflé sur deux chaudières du groupe arrière.

L'une de ces chaudières reçut des tubes de 40^{mm}-46^{mm}, l'autre, des tubes de 50^{mm}-56^{mm}, les quatre chaudières à tirage naturel ayant des tubes de 72^{mm}-80^{mm}.

L'essai devait mettre en évidence quel diamètre de tube, il convenait d'adopter, tant au point de vue du rendement que pour la facilité de nettoyage, la durée, etc.

Les éléments principaux des six corps de chaudières étaient les suivants :

	Tirage naturel.	Tirage forcé.	
		Tubes de 50 ^{mm} -56 ^{mm} .	Tubes de 40 ^{mm} -46 ^{mm} .
	4 corps.	1 corps.	1 corps.
Diamètre des enveloppes	3 ^m ,300	3 ^m ,300	3 ^m ,300
Longueur.....	5 ^m ,07	5 ^m ,07	5 ^m ,07
Diamètre des foyers	1 ^m ,000	1 ^m ,000	1 ^m ,000
Longueur des grilles.....	1 ^m ,70	1 ^m ,70	1 ^m ,70
Longueur des tubes.....	1 ^m ,900	1 ^m ,900	1 ^m ,900
Diamètre intérieur et extérieur.....	12 ^{mm} -80 ^{mm}	50 ^{mm} -46 ^{mm}	40 ^{mm} -46 ^{mm}
Section tubulaire.....	3,762	1,291	1,052
Surface des grilles.....	20,40	6,800	6,800
Surface de chauffe totale.....	511,34	229,92	232,04
Rapport à la surface de chauffe.....	25,00	33,80	34,00
de grille.....	Section tubulaire.....	0,184	0,190
		0,190	0,154

Avant la mise en service du navire, on fit une série d'essais sur place *dans le port*, qui donnèrent les résultats suivants :

	4 chaudières à tirage naturel.	2 chaudières à tirage forcé.			2 chaudières à tirage forcé (ensemble).
		Tubes 50 ^{mm} -56 ^{mm} .	Tubes 40 ^{mm} -46 ^{mm} .	Moyennes.	
	4 chaud.	1 chaud.	1 chaud.	»	2 chaud.
Surface de grilles.....	120,40	6,80	6,80	6,80	13,60
Surface de chauffe	511	229,92	232,04	230,98	462
Puissance indiquée totale	1095	609	729	669	1292
Puissance par mètre de surface de chauffe.	2 ^{chx} ,12	2 ^{chx} ,55	3 ^{chx} ,04	2 ^{chx} ,85	2 ^{chx} ,82
Charbon par cheval indiqué.....	1 ^{kg} ,100	1 ^{kg} ,240	0 ^{kg} ,916	1 ^{kg} ,078	0 ^{kg} ,903

En service, depuis novembre 1887 jusqu'en 1893, on obtint des résultats qui confirmèrent d'abord à peu près les précédents; mais le fonctionnement des ventilateurs donna beaucoup d'ennuis et de troubles, et, au bout d'un certain temps, le bénéfice de puissance s'atténua en même temps qu'on dut constater que la détérioration des chaudières était incontestablement un peu plus rapide dans les corps soufflés que dans les autres.

Il n'en a pas moins été acquis que deux chaudières soufflées donnaient, à 7 pour 100 près, la même puissance utile que trois chaudières à tirage naturel, avec un rendement à très peu près le même.

Dans la même année 1887, et l'année suivante 1888, une autre expérience, des plus intéressantes, fut faite sur les anciens paquebots de la ligne du Pacifique, les navires à double hélice, dont les noms suivent :

Ville de Bordeaux, Ville de Saint-Nazaire et Ville de Brest. — Les chaudières de ces navires, étant arrivées au terme de leur service, furent successivement changées. Les anciens appareils évaporatoires de ces bâtiments

se composaient de six corps simples, de trois foyers chacun, placés en abord, de manière à former, suivant le vieux système, une chambre de chauffe longitudinale dans l'axe.

Les nouveaux appareils furent composés de deux corps doubles, de quatre foyers chacun, soit en tout *huit foyers au lieu de dix-huit*. Le système de soufflage installé fut à très peu près le même que celui décrit plus haut.

Le Tableau suivant met en évidence, avec les dimensions comparées des anciennes et des nouvelles chaudières, les résultats obtenus dans les deux cas :

	Ancien appareil. Tirage naturel.	Nouvel appareil. Tirage forcé.
Nombre de corps.....	6 simples	2 doubles
Diamètre.....	3,600	3,800
Longueur.....	2,900	6,300
Nombre de foyers.....	18	8
Diamètre des foyers.....	0,900	1,30
Longueur des grilles.....	1,700	1,40
Diamètre des tubes.....	76 ^{mm} -84 ^{mm}	50 ^{mm} -56 ^{mm}
Longueur des tubes.....	2,14	2,45
Section tubulaire.....	4,90	2,88
Surface de grilles.....	27,54	14,00
Surface de chauffe.....	680 ^{m²}	645 ^{m²}
Rapport à la surface de la grille. {		
Surface de chauffe.....	25	46
Section tubulaire.....	0,180	0,205
Puissance indiquée.....	2400	2642
Puissance par mètre carré de chauffe.....	3 ^{ch} ,55	4 ^{ch} ,10
Poids.....	200 ^{tx}	134 ^{tx}
Volume des parallélépipèdes circonscrits aux chaudières.....	226 ^{mc}	192 ^{mc}

Il en résulte que les appareils actuels donnent à peu près la même puissance, le rendement restant à peu près constant, mais qu'elles offrent un bénéfice de poids de 30 pour 100.

Il y a bien aussi, en réalité, un bénéfice d'encombrement, mais, en fait, on n'en a pas profité pour les marchandises ni même pour le charbon, car on n'a pas déplacé les cloisons, limitant les chaufferies; mais le moindre volume des chaudières a permis d'établir des chaufferies transversales qui sont notablement plus avantageuses. Par ailleurs, la réduction du nombre de foyers a permis de faire une très notable économie sur le nombre des chauffeurs et, par suite, sur la dépense à laquelle il donnait lieu et sur le logement qu'ils occupaient.

Sur ces trois bâtiments, le fonctionnement des ventilateurs n'a pas amené de difficultés et les chaudières n'ont pas montré d'usure anormale. Ce résultat est dû, sans doute, à la modération du soufflage et de l'allure de combustion. On n'a pas dépassé comme moyenne 130^{kg} par mètre carré de grille (2^{kg},90 par mètre carré de surface de chauffe, 645^{kg} par mètre carré de section tubulaire).

Ville d'Oran et Ville de Bône. — En 1888, les paquebots *Ville d'Oran* et *Ville de Bône* eurent leurs machines transformées du système compound en triple expansion. Les anciennes chaudières comportant deux corps doubles furent remplacées par trois corps simples sur lesquels on installa le système de soufflage déjà décrit. Le Tableau ci-dessous permet de comparer l'ancien appareil évaporatoire avec le nouveau :

	Ancien appareil compound tirage naturel.	Nouvel appareil triple expansion tirage forcé.
Timbre des chaudières.....	5 ^{ks}	10 ^{ks}
Nombre »	2 doubles	3 simples
Diamètre »	4 ^m , 125	4 ^m , 15
Longueur »	5 ^m , 64	3 ^m , 20
Nombre total de foyers.....	12	6
Diamètre du foyer.....	1, 04	1, 25
Longueur de grilles.....	1, 80	1, 70
Diamètre des tubes	76 ^{mm} -84 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}
Longueur »	2 ^m , 00	2 ^m , 35
Section tubulaire.....		3, 03
Surface de grilles.....	22 ^{m²} , 50	12 ^{m²} , 75
» de chauffe.....	550 ^{m²}	584 ^{m²} , 52
Rapport à la sur- { de la surface de chauffe..	24, 20	46, 50
face de grilles.. { de la section tubulaire...		0, 238
Puissance indiquée aux essais.....	1980 ^{chx}	2200 ^{chx}
» par mètre carré de chauffe....	3 ^{chx} , 60	3 ^{chx} , 76
» par mètre carré de grille.....	88 ^{chx}	172 ^{chx}

On voit que les nouvelles chaudières présentaient sur les anciennes un bénéfice d'encombrement d'environ 20 pour 100. Le poids est resté sensiblement le même, à cause de l'augmentation des échantillons nécessitée par l'accroissement de la pression passée de 5^{ks} à 10^{ks}. Avec leurs machines transformées et leurs chaudières soufflées, ces deux paquebots réalisent une puissance supérieure et une économie dans la consommation par cheval d'environ 12 pour 100. Si, comme cela paraît juste d'après les résultats de nos autres transformations, on attribue entièrement cette économie à la triple expansion, il reste pour le soufflage le bénéfice de l'encombrement.

Comme sur les trois navires précédents, il ne s'est pas jusqu'ici présenté ni sur la *Ville de Bône* ni sur la *Ville d'Oran*, de sérieuses difficultés, soit au point de vue du fonctionnement, soit au point de vue de l'usure des chaudières.

Navires rapides pour le service entre Marseille et Alger, et vice versa. — Dans le courant de l'année 1887, je fus chargé par le Conseil d'administration

de la Compagnie Générale Transatlantique d'établir un plan de paquebot capable de réaliser, pour un service direct entre Marseille et Alger, une vitesse notablement supérieure à celle atteinte jusque-là, et, s'il était possible, de réduire à vingt-quatre heures la durée de la traversée, au moins dans les circonstances les plus favorables.

Pour remplir ce programme, auquel venaient s'ajouter d'ailleurs d'autres conditions, je n'hésitai pas à recourir au tirage forcé, et ce système, avec certains perfectionnements de détails, fut complètement appliqué à la série des cinq navires successivement construits de 1888 à 1891, et dont voici les noms :

1° *Eugène Pereire*, 2° *Duc de Bragance*, 3° *Ville d'Alger*, 4° *Maréchal Bugeaud*, 5° *Général Chanzy*.

Ces paquebots reçurent des machines à triple expansion, à très peu près semblables entre elles et des chaudières fonctionnant à 10^{ks} pour les deux premiers et à 11^{ks} pour les trois autres.

La disposition des appareils évaporatoires fut la suivante :

Eugène Pereire. — Deux corps doubles à quatre foyers chacun et deux corps simples à deux foyers chacun, comportant une chaufferie simple et une chaufferie double. Ces chaudières étaient semblables, sauf la dimension des tubes, à celles placées vers la même époque sur le *Labrador* également transformé à triple expansion, mais fonctionnant au tirage naturel.

Cette disposition diffère un peu de celle adoptée sur les autres bateaux, *Duc de Bragance*, *Ville d'Alger*, *Maréchal Bugeaud*, qui furent dotés de quatre chaudières simples, d'un plus grand diamètre, avec des tubes plus longs que les précédents, comportant une seule chaufferie double.

La différence s'accrut avec le *Général Chanzy*, sur lequel furent placées quatre chaudières simples (avec tubes encore allongés) placées dos à dos, comportant deux chaufferies simples, disposition qui permit de simplifier le service des chaufferies et l'installation des conduits de vent.

Le Tableau suivant récapitule, du reste, les principales dimensions des chaudières de ces cinq paquebots et de celles du *Labrador*.

	Labrador.	E. Pereire.	Duc de Bragance.	Maréchal Bugeaud et Ville d'Alger.	Général Chanzy.
Nombre de chaudières.....	4 doubles	2 D et 2 S.	4 S.	4 S.	4 S.
Nombre de foyers.....	16	12	12	12	12
Diamètre des foyers	1,20	1,200	1,05	1,100	1,100
Longueur des grilles.....	1,70	1,700	2,00	2,00	2,00
Timbre	10 ^{kg}	10 ^{kg}	10 ^{kg}	10 ^{kg}	11 ^{kg}
Diamètre des chaudières.....	3,800	3,800	4,10	4,200	4,20
Longueur des chaudières	5,07	5,07	3,48	3,550	3,75
Diamètre des tubes.....	72 ^{mm} -80 ^{mm}	50 ^{mm} -55 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}
Longueur des tubes.....	1,900	1,900	2,58	2,62	2,77
Section tubulaire.....	6,37	4,32	3,29	3,450	3,43
Surface de grilles.....	34,08	25,50	21,40	25,50	25,50
Surface de chauffe.....	838	750	774	820	846
Rapport à la sur- { Surface de chauffe..	24,40	29,50	36,50	32,20	33
face de grilles. { Section tubulaire..	0,188	0,170	0,130	0,135	0,134
Puissance totale indiquée	3000 ^{chx}	3545	3200	3300	4000
Puissance par mètre carré de chauffe..	2 ^{chx} ,76	4,75	4,15	4,00	4,75

Les résultats obtenus par le tirage forcé sur les cinq navires ont été bons, et de plus en plus satisfaisants depuis le premier jusqu'au cinquième.

Sur le dernier, le *Général Chanzy*, on peut dire qu'ils ont été excellents. Le rendement du combustible a été au moins égal à celui de nos meilleurs appareils; la puissance développée relativement au poids et à l'encombrement, a atteint une proportion élevée; les avaries de ventilateurs ont été très rares; enfin la détérioration des chaudières ne s'est pas jusqu'ici montrée anormale, en dehors des piqûres survenues aux tubes, et il n'est pas prouvé que le soufflage en soit la cause.

La Touraine et la Navarre. — Sur les deux grands paquebots *la Touraine* et *la Navarre*, le problème présentait plus de difficultés, à cause de la durée des traversées et de la puissance des appareils. Aussi le fonctionnement n'a-t-il pas été aussi satisfaisant, ni le résultat aussi avantageux que sur le *Général Chanzy*.

Les plans des chaudières et de la disposition des chaufferies sur ce dernier paquebot sont postérieurs du reste à ceux de *la Navarre*, dont diverses circonstances ont prolongé la construction.

Le Tableau ci-dessous contient les données principales relatives aux appareils évaporatoires de *la Touraine* et de *la Navarre*.

	La Touraine.	La Navarre.
Nombre de corps.....	6 D. 3 S.	4 D.
Nombre total des foyers.....	45	24
Timbre.....	10 ^{kg} , 50	10 ^{kg} , 50
Diamètre des chaudières.....	4 ^m , 50	4 ^m , 50
Longueur des chaudières.....	$\left\{ \begin{array}{l} 6^m, 20 \\ 3^m, 22 \end{array} \right.$	6 ^m , 55
Diamètre des foyers (intérieur minimum).....	1 ^m , 20	1 ^m , 20
Longueur des grilles.....	2 ^m , 00	2 ^m , 00
Diamètre des tubes.....	55 ^{mm} -61 ^{mm}	55 ^{mm} -61 ^{mm}
Longueur des tubes.....	2 ^m , 35	2 ^m , 50
Section totale tubulaire.....	14 ^{m²} , 89	7 ^{m²} , 94
Surface totale de grilles.....	104 ^{m²}	57 ^{m²} , 60
» de chauffe.....	3123 ^{m²}	1760 ^{m²}
Rapport à la sur- face de grille	$\left\{ \begin{array}{l} \text{de la surface de chauffe....} \\ \text{de la section tubulaire....} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 30 \\ 0,143 \end{array} \right.$
Puissance indiquée aux essais.....	12,100	6,600
Puissance par mètre carré de surface de chauffe.	3 ^{kg} , 86	3 ^{kg} , 75
Ventilateurs.....	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \text{ de } 25\,000^{mc} \\ 4 \text{ de } 40\,000^{mc} \end{array} \right.$	4 de 40000 ^{mc}

Bien que les plans d'ensemble de *la Navarre* soient, ainsi que nous l'avons dit, antérieurs à ceux du *Général Chanzy*, son achèvement ayant été postérieur, les détails d'installation des portes et des gueulards des foyers ont reçu les derniers perfectionnements indiqués par l'expérience; aussi le dessin que nous mettons sous les yeux de l'Association se rapporte-t-il à la *Navarre* (Pl. II).

En voici la légende :

Le gueulard proprement dit, fixé sur la chaudière, concentriquement au foyer, se compose d'une pièce en fonte A destinée à recevoir l'air refoulé par le ventilateur et à le répartir dans le cendrier et au-dessus de la grille soutenue par la tablette R.

L'air arrive dans le gueulard par un conduit B, venu de fonte avec lui et débouchant dans le cendrier du foyer. Ce conduit est fixé sur la conduite générale d'air, installée en dessous du parquet de la chaufferie.

La partie supérieure du gueulard présente une ouverture C, destinée à permettre le chargement du charbon sur la grille; de sorte que l'air arrive à la partie supérieure du gueulard dans une partie annulaire D, d'où il passe ensuite au-dessus de la grille, comme on verra plus loin.

L'espace D est fermé sur la face N par une tôle E.

L'ouverture C est fermée par la porte du foyer F, avec portes intérieures G et contre-portes H, comme dans les foyers ordinaires, avec cette seule différence que les charnières de la porte sont fixées sur le gueulard.

Les portes et contre-portes sont en une ou deux parties. On les ouvre au moyen d'un loquet I. Le cendrier est fermé au moyen d'une porte que l'on ferme à l'aide de loquets M.

L'arrivée de l'air dans le gueulard se règle au moyen d'une valve K, que l'on manœuvre à l'aide d'un levier L. Dans la vue de face, le levier est figuré dans la position où la valve est ouverte et donne passage à l'air dans le gueulard. On remarque que, dans cette position, le levier empêche d'ouvrir les portes du foyer, pour éviter qu'en chargeant le foyer la flamme, soumise à la pression de l'air, ne vienne brûler le chauffeur. Pour ouvrir la porte, il est indispensable de tourner le levier de droite à gauche et, lorsque la porte est dégagée, le levier se trouve dans la position où la valve ferme l'arrivée de l'air. On peut alors charger le foyer sans crainte d'accidents. Cette opération terminée, on tourne le levier, on rouvre ainsi la valve K et l'air arrive de nouveau dans le gueulard. On voit que, suivant la position donnée au levier, on pourra marcher à tirage forcé ou à tirage naturel.

De plus, on peut régler l'arrivée de l'air au-dessus de la grille par deux valves N, que l'on manœuvre à l'aide d'un petit levier O que l'on peut enclencher dans différentes positions sur un secteur denté P.

A l'intérieur du gueulard, et concentriquement à l'espace D, se trouve fixé un contre-gueulard Q.

Voici comment se fait la répartition de l'air :

Supposons les valves K et N ouvertes; l'air arrive par la conduite B, dans le sens des flèches, et se rend dans le cendrier et dans l'espace D par l'ouverture des deux valves N. De D, une partie traverse le fond du gueulard par les trous *a*, arrive dans le contre-gueulard Q et se rend enfin au-dessus de la grille par les trous C du contre-gueulard; l'autre partie traverse les trous *b*, arrive dans l'espace C, traverse ensuite les contre-portes G et H par les trous *d* et arrive ainsi au-dessus de la grille.

Le diamètre et le nombre des trous livrant passage à l'air au-dessus des grilles doivent être calculés de telle façon que la vitesse de l'air ne varie pas en traversant les différentes parties qui séparent le gueulard du foyer.

Pendant le voyage que vient d'accomplir la *Navarre*, il s'est produit à l'aller, dans la marche des machines actionnant les ventilateurs, certaines difficultés auxquelles il sera facilement porté remède. D'ailleurs, les gueulards, les portes et les divers agencements qui viennent d'être décrits ont bien fonctionné.

Sur la *Touraine*, l'installation des conduits de vent a présenté, par suite de la disposition générale des chaudières, une certaine complication qui n'a pas permis d'obtenir du tirage forcé l'augmentation de puissance réalisée à terre ou sur quelques navires où elle a pu se faire plus simplement. Toutefois on a encore, grâce au soufflage, réalisé de notables avantages, notamment celui d'une grande régularité de marche avec le vent arrière, comme avec le vent debout.

L'usure des chaudières a été assez marquée, mais pas plus que sur certains appareils marchant à tirage naturel et fonctionnant cependant à une pression moins élevée, et nous prévoyons pour elles une durée normale. Elles ont déjà accompli en trois ans et demi 44 traversées du Havre à New-York, environ 140000 milles.

Or les sondages qui viennent d'être pratiqués dans les foyers et les boîtes à feu ne montrent pas dans ces parties une détérioration plus grande que n'en avaient montré, après le même temps de service, les appareils de la *Champagne* et de la *Bourgogne*; les foyers sont même plutôt en meilleur état; par contre, les tubes présentent plus de piqures, mais cela peut tenir en partie à la qualité du métal et à sa faible épaisseur.

Dans les diagrammes ci-joints (*Pl. III, IV, V*), nous donnons, pour les trois paquebots la *Touraine*, la *Navarre*, le *Général Chanzy*, des indications sur l'augmentation de puissance qui peut être attribuée au tirage forcé. Cette augmentation se rapporte à des chaudières munies de tubes d'un faible diamètre; elle serait, sans doute, un peu moindre avec des chaudières spécialement faites pour le tirage naturel. Elle correspond à la portion hachurée sur les diagrammes des essais progressifs exécutés sur les trois paquebots. Les courbes qui traduisent les résultats, et qu'on pourrait appeler *les caractéristiques* du rendement des navires, constitueront, sans doute, un renseignement de nature à intéresser les membres de l'Association, en dehors même de la question du tirage forcé.

Conclusions. — Voici maintenant quelles sont, après dix ans d'essais poursuivis au milieu des difficultés du service et dans des circonstances très diverses, les conclusions que nous croyons pouvoir formuler :

A terre, le soufflage dans les cendriers fermés est susceptible de procurer :

- 1° Un grand avantage d'encombrement;
- 2° Un bénéfice sensible de rendement, s'il est appliqué à des chaudières cylindriques à tubes en retour, *dessinées tout exprès*, et surtout à des appareils à un seul foyer, avec un conduit de vent court et direct.

Le système est donc absolument à recommander, là où l'installation et le fonctionnement d'un ventilateur n'amèneront pas trop de complications, ce qui sera, en général, le cas dans les établissements importants.

A bord, le succès, jusqu'ici, a été bien loin d'être aussi marqué : divers inconvénients se sont manifestés au bout d'un certain temps de marche, et à des degrés variables suivant les navires.

Voici les principaux :

- a. Pertes de pression par les conduits de vent, surtout s'ils sont longs et contournés;
- b. Avaries de ventilateurs;
- c. Encrassement des tubes;
- d. Détérioration plus rapide des chaudières (tubes piqués, foyers et boîtes à feu corrodés).

Ce sont là des difficultés qui peuvent être surmontées et atténuées dans beaucoup de cas, sinon dans tous, lorsqu'on réalise les conditions suivantes :

1° Se contenter d'un soufflage modéré, c'est-à-dire correspondant à une combustion n'excédant pas 140^{kg} de charbon par mètre carré de la surface de grille (celle-ci étant environ $\frac{1}{15}$ de la surface de chauffe).

2° Sur des chaudières cylindriques du type Marine, avec tubes à retour de flammes, adopter à peu près les dimensions de tubes suivantes :

Tubes lisses : Longueur : 2^m,80. Diamètre : 54^{mm}-60^{mm}.

Tubes à ailettes, système Serve : Longueur : 2^m,30. Diamètre : 74^{mm}-80^{mm}.

3° Renoncer aux chaudières à double façade;

4° Avoir des chaufferies simples, de manière que les conduits de vent soient courts et directs.

5° Installer des ventilateurs (1 pour chaque chaudière), relativement puissants (20^{mc} par kilogramme de charbon brûlé); leurs mécanismes, protégés contre la poussière de charbon, devront être suffisamment rustiques et très étudiés pour la facilité des démontages, visites et réparations.

Ces conditions, qui sont à peu près celles du *Général Chanzy*, permettent de réaliser, relativement à de bonnes chaudières du type ordinaire à tirage naturel et développant la même puissance, un bénéfice de :

30 pour 100 en encombrement,

12 pour 100 en poids,

tout en conservant au moins le même rendement de combustible.

A défaut du tirage forcé en chambre close que, jusqu'à plus ample informé, je ne crois pas applicable aux navires de commerce pour les longues traversées et les grandes puissances, à défaut aussi du tirage par aspiration, qui n'est pas encore suffisamment sanctionné par la pratique, malgré les essais signalés comme satisfaisants du système Ellis et Eaves sur le vapeur le *Perthshire*, je suis fermement d'avis qu'il y a lieu de persévérer dans le système du soufflage en cendriers fermés pour des traversées de durée restreinte comme celles des paquebots-poste entre Marseille et Alger.

Dans le cas de voyages plus longs, tels que ceux des services transatlantiques et avec des appareils beaucoup plus puissants, je serai plus réservé dans mes conclusions, parce qu'il est alors plus difficile de remplir les conditions énumérées ci-dessus, certains inconvénients, peu graves pour une courte traversée suivie de visites et de réparations immédiates, devenant très sérieux lorsqu'on est obligé à un fonctionnement prolongé.

Toutefois, je considère comme très probable que ces inconvénients pourront être assez atténués pour laisser une supériorité finale au soufflage, même dans le cas des longues traversées, et avec les grandes puissances.

Il restera encore, comme problème de l'avenir immédiat, à adapter ce système aux chaudières aquatubulaires (ou à tubes-bouilleurs) qui semblent devoir s'imposer bientôt, avec l'augmentation continue de pression et la solu-

tion de plus en plus satisfaisante des difficultés spéciales auxquelles leur emploi a donné lieu jusqu'ici.

Quoi qu'il en soit, nous espérons que la relation que nous venons de faire et les résultats que nous avons fait connaître pourront aider ceux qui seront conduits à recourir au soufflage dans les cendriers.

Nous avons, dans le Tableau général ci-joint, résumé les principaux éléments ainsi que les conditions de fonctionnement de toutes les chaudières de navires sur lesquels la Compagnie Transatlantique a appliqué ce système.

TIRAGE FORCÉ PAR INSUFFLATION

Données sur les appareils évaporatoires à tirage forcé

	MUSTAPHA 1 ^{er} arrangement (2 corps).	DÉSIRADE.	DRAOUT.	MUSTAPHA 2 ^e arrangement (1 corps).	WASHINGTON
Date de l'application du tirage forcé (Établissement du plan).....	1882	1883	1886	1886	1884
Nombre des corps de chaudières.....	2 S (1)	2 S (1)	2 S	1 S	4 D (1) dont 2 doubles
Diamètre et hauteur des corps.....	2 ^m ,89×4 ^m ,48 (2)	4 ^m ,20	2 ^m ,60×4 ^m ,40 (2)	4 ^m ,20	4 ^m ,00
Longueur des corps.....	2 ^m ,80	2 ^m ,90	2 ^m ,90	2 ^m ,90	5 ^m ,00
Nombre total de foyers.....	4	6	4	3	2 1/2 dont 1 soufflet
Diamètres extérieur et intérieur des tubes.....	55 ^{mm} -61 ^{mm}	76 ^{mm} -84	50 ^{mm} -56 ^{mm}	76 ^{mm} -84 ^{mm}	76 ^{mm} -84
Longueur des tubes.....	1 ^m ,82	2 ^m ,10	2 ^m ,00	2 ^m ,10	1 ^m ,50
Surface de grilles { aux essais.....	3 ^m q,10	7 ^m q,98	2 ^m q,50	2 ^m q,58	33 ^m q,6
{ en service.....	»	»	»	»	1
Surface de chauffe totale.....	176 ^m q	280 ^m q	196 ^m q	140 ^m q	945 ^m q
Section tubulaire totale.....	»	2 ^m q,00	0 ^m q,894	1 ^m q,00	7 ^m q,5
Charbon consommé en service par heure et	par mètre carré de	{ tirage naturel...	»	»	34 ^{kg} ,10
			»	»	34 ^{kg} ,10
		{ tirage forcé.....	34 ^{kg} ,56	24 ^{kg} ,50	34 ^{kg} ,36
			»	»	80 ^{kg}
Puissance en chevaux indiqués aux essais	par mètre carré de	{ tirage naturel...	»	»	385 ^{ch}
			»	»	385 ^{ch}
		{ tirage forcé.....	125 ^{ch}	196 ^{ch}	182 ^{ch}
			»	»	400 ^{ch}
Puissance en chevaux indiqués aux essais	par mètre carré de	{ tirage naturel...	»	»	484 ^{ch}
			»	»	485 ^{ch}
		{ tirage forcé.....	1112 ^{ch}	474 ^{ch}	485 ^{ch}
			»	»	»
Puissance en chevaux indiqués aux essais	par mètre carré de	{ tirage naturel...	»	»	5 ^{ch}
			»	»	5 ^{ch}
		{ tirage forcé.....	3 ^{ch} ,96	2 ^{ch} ,50	2 ^{ch} ,50
			»	»	»
Puissance en chevaux indiqués aux essais	par mètre carré de	{ tirage naturel...	»	»	81 ^{ch}
			»	»	81 ^{ch}
		{ tirage forcé.....	138 ^{ch}	192 ^{ch}	187 ^{ch}
			»	»	»
Nombre et débit des ventilateurs.....	1 de 10 000 ^m q	2 de 10 000 ^m q	1 de 10 000 ^m q	1 de 10 000 ^m q	4 de 10 000 ^m q

(1) S indique que les corps sont simples.

(2) D indique que les corps sont doubles.

(3) Ces chiffres se rapportent à des chaudières ovales : le plus faible indique la largeur, le plus fort la hauteur.

DANS LES CENDRIERS.

és à bord des paquebots de la Compagnie Générale Transatlantique.

AYETTE.	VILLE DE BREST, VILLE DE BORDEAUX, VILLE DE ST-NAZAIRE.	VILLE D'ORAN, VILLE DE BONE.	EUGÈNE PEREIRE.	DUC DE BLAGANCE.	VILLE D'ALGER, MARÉCHAL BUGEAUD.	LA TOURAINÉ.	LA NAVARRÉ.	GÉNÉRAL CHANZY.
886	1887-88	1888	1888	1888	1889	1889	1890	1891
dont oufflées	2 D	3 S	4 { 2 D 2 S	4 S	4 S	9 { 6 D 3 S	4 D	4 S adossées
2,30	3 ^m ,80	4 ^m ,15	3 ^m ,80	4 ^m ,10	4 ^m ,20	4 ^m ,50	4 ^m ,50	4 ^m ,20
2,07	6 ^m ,30	3 ^m ,20	5 ^m ,07 2 ^m ,65	3 ^m ,48	3 ^m ,55	6 ^m ,20 3 ^m ,20	6 ^m ,55	3 ^m ,75
dont oufflées	8	6	12	12	12	45	24	12
2-80 ^{mm}								
2-55 ^{mm}	50 ^{mm} -56 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}	50 ^{mm} -55 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}	55 ^{mm} -61 ^{mm}	55 ^{mm} -61 ^{mm}	55 ^{mm} -60 ^{mm}
2-45 ^{mm}								
2,90	2 ^m ,45	2 ^m ,35	1 ^m ,90	2 ^m ,58	2 ^m ,62	2 ^m ,35	2 ^m ,50	2 ^m ,77
2,80	14 ^m q,30	12 ^m q,75	25 ^m q,50	25 ^m q,50	25 ^m q,50	104 ^m q	57 ^m q,60	26 ^m q,50
"	"	"	22 ^m q,00	21 ^m q,50	20 ^m q,80	"	"	22 ^m q,00
59 ^m q	645 ^m q	584 ^m q	750 ^m q	774 ^m q	820 ^m q	3123 ^m q	1760 ^m q	846 ^m q
4,98	2 ^m q,88	3 ^m q,03	4 ^m q,32	3 ^m q,296	3 ^m q,456	14 ^m q,90	7 ^m q,94	3 ^m q,43
8,94	"	"	"	"	"	"	"	"
8,14	2 ^k 8,67	2 ^k 8,50	3 ^k 8,13	2 ^k 8,66	2 ^k 8,42	3 ^k 8,48	3 ^k 8,28	2 ^k 8,36
6 ^k 8	"	"	"	"	"	"	"	"
2 ^k 8	120 ^k 8	118 ^k 8	106 ^k 8	95 ^k 8	95 ^k 8	100 ^k 8	100 ^k 8	90 ^k 8
10 ^k 8	"	"	"	"	"	"	"	"
7 ^k 8	595 ^k 8	500 ^k 8	545 ^k 8	620 ^k 8	580 ^k 8	725 ^k 8	725 ^k 8	582 ^k 8
"	"	"	"	"	"	10 000 ^{chx}	4552 ^{chx}	"
5,3 ^{chx}	2647 ^{chx}	2100 ^{chx}	3545 ^{chx}	3250 ^{chx}	3250 ^{chx}	12 000 ^{chx}	6600 ^{chx}	3948 ^{chx}
"	"	"	"	"	"	3 ^{chx} ,22	2 ^{chx} ,58	"
2,66	4 ^{chx} ,10	3 ^{chx} ,60	4 ^{chx} ,73	4 ^{chx} ,20	3 ^{chx} ,96	3 ^{chx} ,90	3 ^{chx} ,75	4 ^{chx} ,68
"	"	"	"	"	"	96 ^{chx}	79 ^{chx}	"
5 ^{chx}	185 ^{chx}	165 ^{chx}	139 ^{chx}	128 ^{chx}	128 ^{chx}	116 ^{chx}	115 ^{chx}	150 ^{chx}
0 000 ^{mc}	2 de 20 000 ^{mc}	3 de 10 000 ^{mc}	2 de 20 000 ^{mc}	2 de 20 000 ^{mc}	2 de 10 000 ^{mc}	4 de 20 000 ^{mc}	4 de 40 000 ^{mc}	4 de 20 000 ^{mc}
0 000 ^{mc}					2 de 20 000 ^{mc}	4 de 25 000 ^{mc}		

Discussion du Mémoire de M. Daynard.

M. NORMAND fait remarquer que les premières applications du tirage forcé en cendriers fermés sont bien antérieures aux travaux de M. Audenet et de M. Howden; le premier torpilleur livré par Thornycroft à la Norvège en 1876 était pourvu d'un dispositif de cette nature, et le chantier Schichau l'a employé dès 1880 sur tous ses torpilleurs. En outre, il y a une différence radicale entre le système Howden et celui de la Compagnie Transatlantique, car Howden cherche, avant tout, à réchauffer l'air qui doit servir à la combustion du charbon.

M. DAYMARD considère que le chauffage de l'air ne donne pas un bénéfice comparable à l'encombrement qui en résulte. Il ajoute qu'en parlant de la date du brevet de M. Audenet, il a seulement voulu établir que l'auteur et son émule anglais ont travaillé la même question à peu près dans le même temps et sans avoir connaissance ni l'un ni l'autre de ce qui se passait de l'autre côté du détroit.

Le soufflage en cendriers fermés remonte encore bien plus haut que ne l'a dit M. Normand : la discussion qui s'est élevée entre les deux inventeurs anglais Howden et Fothergill a en effet conduit le premier à découvrir que vers 1820, les frères Stevens, de Chicago, avaient employé ce système de tirage forcé concurremment avec les deux autres dispositions connues, tirage par aspiration dans la cheminée et chambre close. Le tirage forcé est donc presque aussi ancien que la machine à vapeur elle-même.

Le Président, se référant à ce qu'il a déjà dit sur la concurrence américaine, remercie M. Daynard de son intéressant Mémoire, et le félicite des efforts qu'il fait pour améliorer le rendement économique des appareils moteurs sur les paquebots de la Compagnie Transatlantique.



QUELQUES POINTS CONCERNANT LES CUIRASSÉS,

PAR M. E. WEYL.

Je ne me propose pas de traiter toutes les questions qui touchent aux cuirassés; elles sont si multiples que les limites qui me sont assignées seraient amplement dépassées si je tentais de le faire; toutefois, l'année qui vient de s'écouler a été marquée par de tels accidents que le monde maritime s'est vivement préoccupé des conditions d'établissement des cuirassés, surtout de ceux de grand tonnage.

Je ne discuterai pas ici les raisons qui militent en faveur du cuirassement; à tout considérer, le canon reste de tous les engins d'attaque le plus simple et le plus facile à manier; mais, comme sa puissance a augmenté récemment dans des proportions si considérables que les nouvelles pièces ont des portées et des pénétrations à peu près doubles de celles d'il y a dix ans, quelques-uns estiment que toute cuirasse, à moins qu'elle ne soit d'une grande épaisseur, doit être proscrite et qu'il faut y renoncer autre part que sur des navires capables de supporter les très lourdes armures. A cela on peut faire remarquer d'abord que les progrès du blindage sont énormes et qu'il ne faut pas juger la protection du cuirassé de l'avenir d'après le genre de cuirasses que nous mettons sur les navires commencés ou en achèvement à flot; que de plus on ne doit pas tabler dans la pratique d'après les résultats du polygone. Néanmoins, on peut admettre que couvrir les petites pièces avec des plaques de quelques centimètres d'épaisseur est une pratique qu'on ne doit pas recommander : une telle protection est illusoire et plutôt dangereuse qu'efficace en raison des éclats de l'abri. Mais ces réserves faites sur des détails du cuirassement, on doit ajouter que toutes les marines construisent des cuirassés, et à ceux qui les critiquent, on peut demander comment ils entrevoient la lutte sur mer entre des navires blindés et des bâtiments sans protection. Ils dotent ces derniers, il est vrai, d'une très grande vitesse afin qu'ils puissent accepter ou refuser le combat; n'est-ce pas à la dernière alternative que les bâtiments sans protection auraient recours? Leur solution est donc négative.

Mais ce qui sert parfois les adversaires des cuirassés, ce sont les désastres

dans le genre de celui de la *Victoria*; du même coup, une grande marine a perdu un vaillant équipage et un navire qui a coûté une énorme somme d'argent, quelque chose comme 25 millions de francs. Et si l'on se rappelle que la catastrophe de la *Victoria* a été précédée de l'échouage du *Howe*, que pendant cinq mois on a travaillé à remettre ce dernier bâtiment à flot; que le *Sultan* avait eu un pareil destin quelques années auparavant; qu'un coup d'éperon avait coulé le *Vanguard*, que l'infortuné *Captain* avait disparu dans les mêmes conditions que la *Victoria*, on ne peut s'empêcher de regretter que le progrès des engins de guerre nous oblige à construire des navires à grand déplacement, partant coûtant si cher que leur prix est presque égal au budget d'un petit État. Mais ces regrets manifestés, tout le monde les partage, il n'en reste pas moins vrai qu'on se trouve en présence d'un problème qui manque d'élasticité si l'on tient à mettre à flot un navire capable d'affronter la lutte avec les bâtiments similaires de l'étranger. On peut dire, d'ailleurs, qu'il en est de cette question de déplacement comme du désarmement; personne ne veut en prendre l'initiative et personne ne la prendra, étant donné l'état de paix armée de l'Europe. Il y aurait plutôt même tendance à augmenter le déplacement qu'à le réduire; les Anglais en donnent l'exemple : ils ne se contentent plus des 14150 tonnes de leurs cuirassés (ils sont au nombre de huit) type *Royal Sovereign*; avec le *Majestic* et le *Magnificent*, ils arrivent à 14900 tonnes. Les Italiens, qui leur avaient montré la voie, reculent maintenant pour des raisons sur lesquelles il est inutile d'insister; mais toutes les autres puissances se maintiennent dans les 12000 tonnes, au grand regret des ingénieurs qui ne savent comment donner satisfaction aux exigences nombreuses de toutes les parties de l'armement. On veut, en effet, de grandes vitesses, un grand rayon d'action, de l'artillerie de rupture, des masses de canons de moyen et petit calibre, des torpilles, un éperon, une protection sérieuse, une savante distribution de la coque, et tout cela avec le déplacement le plus petit. Le problème n'est pas aisé à résoudre.

J'ai hâte d'arriver à la *Victoria*. Nos voisins d'outre-Manche avaient certainement toute confiance dans ce type, et cependant il a disparu dans des conditions lamentables qui ont dérouté toutes leurs prévisions. Qu'à la suite d'une fausse manœuvre, d'un abordage, un navire reçoive un coup d'éperon, qu'il s'enfonce sous le poids d'une énorme surcharge d'eau, qu'il sombre, rien en cela n'étonne les gens du métier! Quelques savantes combinaisons qu'on invente pour rendre le navire insubmersible, il peut faire des avaries qui le mettront en péril et qui amèneront une fin prématurée. Aussi nous nous rendons très bien compte des dangers que court un bâtiment pendant un combat; nous le voyons éventré par des projectiles, disloqué par des torpilles, enfoncé par l'éperon; nous le voyons disparaître, mais qu'il se retourne la quille en l'air à la suite d'un abordage, voilà qui est stupéfiant. La *Victoria* avait été touchée à l'avant de sa tourelle de chasse; hors la grande brèche faite par l'éperon du *Camperdown*, aucun de ses organes essentiels n'était com-

promis; cependant elle enfonce au point d'immerger son pont, puis l'eau envahit la batterie par les sabords de tribord, par les portes de la traverse cuirassée et de la tourelle, et instantanément elle culbute la quille en l'air! On a pu faire de nombreuses hypothèses sur la position et le nombre de ses avaries, mais, les plans du navire en mains, il est difficile d'arriver à une certitude sur les causes qui ont véritablement déterminé la catastrophe. Toutefois en acceptant, ce qui est logique, les conclusions du rapport de l'éminent M. White, ne peut-on présumer que si la *Victoria* avait été construite d'après nos idées, si elle avait été bien défendue de l'avant, la catastrophe eût été moins terrible; la majeure partie de l'équipage eût pu se sauver tout au moins.

La question à vider serait donc, si elle ne l'était déjà, entre le cuirassé haut et le cuirassé bas; le premier a des qualités nautiques que n'a pas le second; celui-ci, on le sait, dans les gros temps perd beaucoup de sa vitesse en raison du choc des lames qui balayent sa plage et viennent battre la tourelle ou le brise-lames; si, maintenant, grâce à sa plage, au peu de hauteur de l'œuvre-morte à l'avant, il est dangereux au point de vue de la stabilité transversale, le type est nécessairement condamné. Il serait intéressant d'avoir sur ce point l'opinion des excellents ingénieurs qui font partie de la réunion.

Quelques personnes ont incriminé à la première heure le cloisonnement longitudinal; or il n'en existait pas à la partie atteinte de la *Victoria*; néanmoins la catastrophe de ce cuirassé a appelé l'attention sur les dangers que peut courir un bâtiment quand des masses d'eau considérables affluent d'un seul côté du navire, sans écoulement possible de l'autre côté. Ne donnera-t-il pas alors une inclinaison capable de compromettre sa stabilité? Il y a là un péril qu'il faudrait pouvoir conjurer et qui démontre que la division en compartiments étanches, telle qu'on la conçoit aujourd'hui, n'a pas encore dit son dernier mot. Néanmoins, je ne crois pas qu'on puisse jamais réaliser la sécurité absolue contre tous les accidents de mer, mais le système de protection actuel du navire est encore perfectible et doit préoccuper les constructeurs.

Je voudrais aussi appeler l'attention de la réunion sur le mode de protection du commandant. Depuis qu'il existe des navires cuirassés, on a jugé indispensable d'abriter le commandant, l'appareil à gouverner et les organes de communication avec l'intérieur dans une tour blindée, le blockhaus. Or, qu'on interroge ceux qui seraient appelés à aller au feu, enfermés dans cet abri, tous déclarent que, en ces conditions, manœuvrer serait impossible, qu'ils s'empresseraient de quitter le blockhaus pour diriger leur bâtiment. Pour cette raison, on ménage sur les nouveaux navires des postes de manœuvre dans la mâture, mais là les commandants seront exposés aux coups de la petite artillerie. Incontestablement, leur position, si peu sûre qu'elle sera, vaudra mieux encore que l'abri du blockhaus. Or, s'il en est ainsi, à quoi sert de charger l'avant du navire d'un poids très considérable? Ne vaudrait-il pas

mieux supprimer le blockhaus purement et simplement, à moins de trouver un tracé d'abri convenant mieux aux nécessités du combat? En ce qui concerne ce point particulier, je crois qu'on peut formuler ainsi les conditions auxquelles doit satisfaire la protection des commandants : 1° il faut qu'elle soit efficace; 2° que de leur poste ils puissent découvrir presque tout l'horizon; 3° qu'ils puissent se porter d'un bord à l'autre; 4° qu'il leur soit possible d'établir des communications « à la voix » avec la grosse artillerie, les machines et le gouvernail.

Les blockhaus, tels qu'ils sont construits, ne se prêtent nullement à ces *considerata*; ne serait-il pas tout au moins judicieux, puisque tout le monde en critique les arrangements, de chercher un nouveau dispositif? Il est certain que, quel qu'il soit, celui-ci ne donnera pas satisfaction à toutes les exigences du navire, mais le tout est de savoir si de nouveaux tracés n'auraient pas de moindres inconvénients que celui qui est adopté. Nous ne vivons en marine que de compromis.

Autre point contre lequel on ne saurait trop se mettre en garde, c'est l'excès des petits appareils mécaniques dont on tend à encombrer nos bâtiments. On résout un tas de petits problèmes avec une élégance qui prouve en faveur de la fertilité d'invention de tous ceux qui ont une part dans l'aménagement de nos bâtiments; mais le manque de robustesse de ces appareils devrait faire réfléchir à ce fait, qu'ils ne résisteraient pas à la violence d'un coup de canon qui frapperait à quelque distance.

Malheureusement ou heureusement, comme on le voudra, les combats maritimes de ces dernières années ne nous fournissent aucun enseignement dont nous puissions tirer profit; toutefois, quand on étudie le brillant fait d'armes accompli par le capitaine de vaisseau Bory, au *Meinam*, avec des instruments aussi imparfaits que l'*Inconstant* et la *Comète*, on ne peut s'empêcher de constater que la qualité des équipages, la vigueur du commandement restent toujours les principaux facteurs de la victoire. Des armes médiocres entre les mains d'hommes de grande valeur rendent plus de services que les engins les plus perfectionnés confiés à des hommes sans expérience et sans esprit militaire. Et comme l'action du chef sur ceux qui sont sous ses ordres est un gage de succès, il importe de la faciliter par tous les moyens possibles; aussi pour cette raison doit-on aménager le navire de telle façon que les principaux organes de l'attaque soient toujours sous l'œil du commandement ou en communication assurée avec lui. Il faut que l'âme de celui qui conduit le navire dans les circonstances périlleuses soit en contact intime avec celles de tous ceux qui doivent exécuter ses ordres; c'est alors seulement que l'outil de combat est une unité redoutable et qu'on obtient de lui le maximum de rendement.

Le problème est évidemment difficile à résoudre sur les bâtiments modernes, étant données les nécessités de la défense; néanmoins il est de ceux qu'on peut résoudre d'une façon relativement satisfaisante, à condition qu'on

sache faire la part des véritables nécessités du combat. Nous cherchons à rendre nos navires insubmersibles et à peu près invulnérables; l'insubmersibilité absolue est un objectif qui défie toutes les prévisions : exemple la *Victoria*, le *Howe*, le *Sultan*, le *Vanguard*, le *Captain*; quant à l'invulnérabilité des équipages, elle ne peut être que relative. Les combats sur mer entre adversaires d'égale valeur ont toujours été très meurtriers, et c'est faire de la sentimentalité que de chercher à dépasser une certaine limite de protection; il est même dangereux d'y songer pour certains parages du navire, surtout quand pour l'atteindre on sacrifie quelque chose du contact nécessaire entre le chef et son équipage. Fions-nous donc plus à la machine humaine que nous ne le faisons, facilitons à bord les relations simples entre tous les services, devrions-nous sacrifier quelque chose à la protection absolue.

Je conviens volontiers qu'il est plus aisé de formuler ces nécessités du combat sur mer que de trouver la solution; cependant, si l'on avait toujours présent à l'esprit le seul objectif qui permette de défendre les constructions coûteuses, telles que les grands cuirassés, on éviterait bien des erreurs. C'est aux marins à formuler leurs *desiderata*, à les établir nettement; cela fait, les constructeurs et les artilleurs doivent se mettre à l'œuvre pour construire des navires, des canons et des affûts qui remplissent exactement les conditions requises par ceux qui ont le redoutable honneur de s'en servir. Mais je ne m'étendrai pas sur ce point; pour le traiter à fond, il faudrait étudier l'organisation tout entière du Ministère de la Marine. Je me contenterai toutefois de rappeler un fait qui est tout récent. On se plaint beaucoup de l'énorme superstructure du *Magenta*, et d'après des renseignements très dignes de foi, elle n'a été inventée que pour protéger les embarcations; je me garderai bien de discuter le combat sur mer, mais ne m'est-il pas permis de m'étonner de cette singulière opinion — elle a dû exister — à savoir que, dans une lutte sérieuse, la superstructure ne serait pas criblée, hachée en toutes ses parties? Elle ne protégerait certainement rien; mais là n'est pas seulement la question : l'escadre de la Méditerranée, qui est notre grande école de guerre, estime qu'avant d'appareiller pour marcher à l'ennemi elle devrait se débarrasser de tous ses *impedimenta*, et en premier lieu de la plupart de ses canots. D'ailleurs n'est-ce pas pour cette raison qu'on prévoit sur les navires de combat l'embarquement d'un certain nombre de canots Berthon? Pourquoi alors cette énorme superstructure?

Discussion du Mémoire de M. Weyl.

Répondant à M. Weyl, M. DORÈRE remarque, en passant, que la perte du *Victoria* et celle du *Captain* ne peuvent conduire aux mêmes conclusions pratiques, car l'un a cha-

viré après abordage (*avec sa coque défoncée*) et l'autre a sombré sous voiles (*avec sa coque intacte*). Il fait observer en second lieu que le fait mentionné par M. Weyl, à savoir que le *Victoria* a chaviré avant de couler, s'explique assez naturellement par la suppression de toute stabilité du moment où le navire a commencé à être envahi par l'eau : le danger de chavirer précédera ainsi, bien souvent, celui de couler la quille en bas. Passant à la question des cuirassés hauts et des cuirassés bas, M. Doyère trouve que le problème ne se présente pas sous une forme aussi nette : au point de vue de la navigation courante, les œuvres mortes développées peuvent avoir des avantages, bien qu'en réalité les qualités nautiques tiennent à une foule d'autres causes; mais, si l'on envisage les choses au point de vue du *combat*, qui est la destination naturelle des navires de *guerre*, les œuvres mortes doivent être considérées comme destinées à être rapidement bouchées par le feu de l'ennemi et le cuirassé haut ne sera plus alors, au point de vue de la stabilité, qu'un cuirassé bas, trop chargé dans les parties hautes.

Au sujet des cloisons longitudinales, M. Doyère signale l'intérêt qu'il pourrait y avoir, dans certains cas, à établir de larges communications à travers les doubles-fonds, entre deux soutes latérales symétriques, si elles ne sont pas trop grandes; leur remplissage, en cas d'avance, se produirait ainsi sans provoquer une bande dangereuse ou tout au moins gênante. Sur la question des blockhaus, il fait ressortir la difficulté de satisfaire à tous les *desiderata* formulés par M. Weyl, *desiderata* qui d'ailleurs ne diffèrent pas essentiellement de ce qu'on s'efforce de réaliser en général.

En ce qui concerne les différents mécanismes dont la complication est critiquée par M. Weyl, il montre qu'un grand nombre d'entre eux sont une conséquence forcée des nécessités du service et des exigences du combat. Il faut éviter l'excès, mais, quoi qu'on fasse, un grand bâtiment de guerre sera toujours quelque chose de très compliqué, et il restera toujours une foule de machines indispensables, à défaut desquelles il faudrait employer un grand nombre de bras : l'équipage ne pourrait les fournir et d'ailleurs la machine humaine n'est pas plus à l'abri des projectiles qu'un engin mécanique.

M. Doyère doute que l'action incessante du commandant sur tous les services du bord soit possible sur un grand navire pendant le combat et estime que, pour éviter le désarroi, il convient d'attribuer à l'avance à chacun, dans sa sphère, une large part d'initiative.

Enfin il se demande s'il est bien exact que les superstructures du *Magenta* n'aient été installées que pour protéger les embarcations.

En réponse à M. Doyère, M. WEYL fait remarquer qu'il n'a fait aucune comparaison entre les conditions de chavirage du *Captain* et de la *Victoria* : il s'est contenté de citer un fait. Relativement aux cuirassés hauts et aux cuirassés bas, il rappelle que les Anglais ont abandonné le dernier type au profit du premier et il ajoute que, jusqu'à présent, on n'a pas encore construit de cuirassé bas donnant satisfaction aux marins. Quant à la protection des commandants, le système actuel est l'objet des critiques de tous les officiers. Enfin, en ce qui concerne les engins mécaniques auxiliaires, il estime qu'on a été trop loin dans la voie de leur emploi et qu'il y aurait grand avantage à s'en priver plus qu'on ne le fait.

L'amiral SERRES considère qu'au point de vue de la guerre maritime on a commis deux erreurs : la substitution des croiseurs rapides aux cuirassés, et la recherche d'une grande vitesse pour les cuirassés. Les escadres seules peuvent tenir libres les routes de la mer, et dans les combats d'escadre la vitesse ne compte pas, parce qu'une escadre doit régler son allure sur les plus lents de ses navires; elle ne peut pas prendre chasse devant une escadre ennemie, sous peine de sacrifier les mauvais marcheurs qui figureront toujours

dans son effectif. Donc, lorsque deux escadres seront en présence, elles devront combattre, et c'est cette considération qui doit guider le choix des qualités à assurer aux navires de combat.

M. NORMAND remarque que, dans l'abordage du *Victoria* avec le *Camperdown* et dans d'autres circonstances, l'éperon a mis en péril le bâtiment qui le portait, et il se demande s'il n'y aurait pas intérêt à remplacer cette arme dangereuse par une torpille pouvant être rendue à volonté inerte ou offensive.

M. DAYMARD répond que cette question a déjà frappé les hommes compétents et qu'avant 1870 on s'en est préoccupé dans la Marine, mais sans arriver à une solution satisfaisante. Puis il parle du cloisonnement des navires de combat, que l'on rend la plupart du temps inutile par les nombreuses portes étanches que l'on perce dans les cloisons sous prétexte des nécessités du service : comme c'est pendant le combat que la rapidité du service doit surtout être assurée, il en résulte que les portes restent ouvertes et créent un danger.

La discussion est close après un nouvel échange d'idées entre MM. Weyl et Doyère, auquel prennent part plusieurs membres.

NOTE

SUR

LES TRAVAUX DE DÉGLAÇAGE DANS LES ESTUAIRES

FLUVIAUX ET MARITIMES,

PAR M. MAURICE DIBOS,
Ingénieur.

Depuis 1870-1871, soit une période de vingt-trois ans, nous avons pu constater avec nos contemporains que les saisons hivernales tendent à apporter sur nos régions, tempérées jusqu'alors, des rigueurs toutes spéciales de température amenant la congélation presque bi-annuelle, partielle de certains estuaires maritimes, totale de nos fleuves et rivières, le thermomètre oscillant dans la plupart des cas entre -10° et -27° , soit -17° en moyenne pour les contrées s'étendant jusqu'au 40° de latitude Nord.

Le froid peut durer longtemps; ainsi, à Paris :

En 1870-1871 cette durée fut de douze jours de gel ininterrompu.

En 1871-1872 cette durée fut de vingt et un jours de gel ininterrompu.

En 1879-1880 cette durée fut de vingt-huit jours de gel ininterrompu.

En 1890-1891 cette durée fut de vingt jours de gel ininterrompu.

En 1892-1893 cette durée fut de seize jours de gel ininterrompu.

Pour ne citer que ces périodes remarquables.

Sans entrer ici dans des appréciations développées sur les sources possibles de ces perturbations météorologiques que nous pensons pouvoir attribuer au refroidissement progressif de l'écorce du globe et aux productions sur le disque solaire de grandes taches pendant le solstice d'hiver, nous chercherons dans cette Note à réunir les moyens les plus convenables pour arriver à frayer aux navires et bateaux des chenaux ou bassins de largeur suffisante pour leur passage à travers les glaces ou leur liberté de manœuvre, pour débarrasser les estuaires maritimes, l'embouchure des fleuves, des dangereux obstacles que créent aux navigateurs le charriage des glaçons et les embâcles

qu'ils produisent sur les parcours ou embouchures de ces fleuves, ou dans les ports situés sur ces parcours, ou à proximité de ces embouchures.

Sur maints endroits de notre pays les voies navigables intérieures sont sillonnées aujourd'hui aussi bien par des navires que par des bateaux de rivière, et c'est à ce double point de vue de fréquentation nautique que nous essayons de nous placer, afin de donner quelques indications techniques et pratiques aux marins et mariniers dont les bâtiments peuvent être surpris par le gel, soit en cours de route, soit en stationnement.

On sait que, immédiatement en dessous de zéro, a lieu la formation de la glace à la surface de l'eau recouvrant de faibles profondeurs. Si les couches d'air sont calmes et le courant à peu près nul, ce qui arrive dans les biefs de faible retenue, on voit de longues aiguilles partant des berges, des piles de pont, des quais, de la ligne de flottaison des bateaux mouillés ou amarrés, s'étendre et s'entre-croiser de toutes parts en s'ajoutant les unes aux autres; les vides existants entre ces aiguilles disparaissent sous la solidification progressive, et une mince couche de glace ne tarde pas à recouvrir toute la surface du plan d'eau. Cette couche s'épaissit de plus en plus sous l'influence du gel et présente aux yeux de l'observateur une surface parfaitement polie et transparente.

Si au contraire les effets de la congélation ont lieu par légère brise ridant la surface liquide, de petits cristaux s'entre-croisent; une sorte de mixture pâteuse sous forme de neige à moitié fondue recouvre alors la surface du plan d'eau. Dans ces conditions, une fois la solidification accomplie, la surface glacée est opaque et rugueuse.

Les rivières et fleuves de 3^m à 8^m de profondeur ne se congèlent guère, d'après ce que nous avons pu observer, qu'à des températures atteignant — 10° à — 15° environ. Dans les eaux immobiles de 10^m de profondeur moyenne, telles que celles des bassins à flot, il peut parfaitement se faire que par suite d'un froid intense amené par un vent de nord ou de nord-est, la solidification, déjà en partie constituée, s'opère dans l'intervalle d'ouverture des portes, d'une marée à l'autre, et que la glace ait atteint, au moment des possibilités d'entrée et de sortie des navires et bateaux, une épaisseur telle que les mouvements de port en soient sinon totalement interrompus, tout au moins tellement retardés que la sécurité, notamment des entrants obligés à mouiller dans l'avant-port ou de regagner la rade, puisse en être compromise.

La Marne, la Saône, l'Yonne, la Meuse, la Loire et la Seine ne se solidifient guère, d'après ce que nous avons noté, que vers des températures oscillant entre — 12° et — 14°. Ces rivières et fleuves charrient toutefois bien avant, soit vers — 4° à — 6°. Antérieurement à l'envahissement par la congélation de toute la largeur du cours d'eau, il s'est formé de multiples blocs de glaces de volumes et de surfaces divers, que le courant charrie et qui flottent en vertu de leur

moindre densité. On sait que l'eau douce présente cette particularité d'un maximum de densité à la température de $+4^{\circ}$. Si le liquide, par suite d'une cause quelconque, se refroidit par la surface, il gagne le fond jusqu'à ce que toute la masse d'eau ait acquis cette même température de $+4^{\circ}$. A compter de cet instant, les couches conservent leurs positions : les plus froides constamment placées à la partie supérieure ; il semble ainsi que le phénomène du gel paraisse devoir toujours se produire par la surface libre.

Au contraire, par suite de la salure et de l'agitation de l'eau de mer, la congélation se trouve retardée, et le gel ne se produit guère que dans les passes resserrées, dans les baies ou estuaires, ou près des côtes. Les sels marins, en effet, abaissent en même temps la température de congélation et celle du maximum de densité et cette dernière beaucoup plus vivement que la première. Aussi, à la mer, les glaces s'y forment-elles surtout par le fond.

Plus les glaces se multiplient, plus leurs dimensions et leur volume augmentent de toutes parts par la solidification de nouvelles couches liquides venant s'ajouter au noyau primitif. Comme le lit du cours d'eau se trouve de plus en plus envahi, la marche des glaçons, se heurtant les uns aux autres et aux obstacles naturels ou artificiels existants, est de plus en plus ralentie. A un moment donné, une partie de glaçons s'arrête, et l'immense convoi glacé stoppe à son tour. Le froid finit de souder les uns aux autres tout cet amas de glaçons stationnaires, et le fleuve ou la rivière se trouve pris.

La navigation, qui a été très pénible au fur et à mesure de l'accentuation du charroi des glaces, se trouve, du fait de la prise du cours d'eau, totalement arrêtée.

Pour retarder le moment de l'embâcle, on essaye généralement, dans les rivières et fleuves canalisés, de faire des mouvements de barrages ou d'écluses, en élevant ou abaissant le plan d'eau. On réussit souvent à gagner ainsi un ou deux jours sur la congélation totale du cours d'eau, mais sans qu'il puisse en résulter un avantage bien marqué pour la navigation, qui a cessé tacitement bien auparavant.

L'huile *minérale* de pétrole, déversée dans le cours d'eau, le bassin, ou l'estuaire pourrait être de très bon appoint pour retarder la congélation ; mais comme il y a à craindre les terribles effets d'inflammation par imprudence ou cause accidentelle, toujours possibles, de cette huile qui surnage, on ne peut préconiser son emploi que dans les parages lointains ou peu fréquentés, ou dans des endroits endigués de toutes parts, et en installant un service de surveillance rigoureuse de tous les instants.

Dans les ports de l'Océan, on ouvre les bassins de chasse afin de débâcler les chenaux, l'avant et l'arrière-port, car, par les fortes gelées de -15° à -20° , les mouvements d'abaissement et d'élévation quotidiens de l'étiage par la marée, ne suffisent pas toujours à débayer les glaces qui, principalement dans l'arrière-port, s'y maintiennent en *icefield*, s'élevant et s'abaissant sur place avec le flot et le jusant.

On a cru longtemps que les glaces se formaient toujours à la surface de l'eau. Brauns, Desmarets et Daguin tombent d'accord au sujet de la théorie suivante : « Quand il fait grand froid, l'eau descend à une température inférieure à 0° jusqu'au fond, par suite des mouvements qui en mélangent toutes les parties. Le fond lui-même prend donc aussi cette température. Cependant, la congélation ne se fait pas à cause de l'agitation des molécules de l'eau. Mais le liquide emprisonné entre les graviers et les débris de diverses sortes de fond se trouve dans un repos qui lui permet de se congeler. Les parcelles de glace ainsi formées servent de noyaux autour desquels la congélation continue, de manière que les glaçons s'accroissent en soulevant l'eau de la rivière ou du fleuve...

« Les glaçons sont retenus sur le fond, soit parce qu'ils sont soudés aux parties fixes, soit parce que les graviers qu'ils retiennent les surchargent suffisamment. Quand le glaçon est assez épais pour que la poussée du liquide puisse le soulever, il monte à la surface » (1).

Il nous a été donné de constater souvent *de visu* l'exactitude de cette théorie. Beaucoup de glaçons de fond portent d'ailleurs des traces non équivoques de leur origine de formation par les graviers, les herbes, algues, la vase, ou les coquilles qu'ils renferment et entraînent avec eux au moment où, s'arrachant du fond, ils montent à la surface. On peut voir, après le départ de ces glaces du fond, leurs contours nettement tracés sur le fond, qui paraît dragué à l'emplacement qu'elles occupaient.

La consistance de ces glaçons est relativement faible encore; c'est plutôt un amalgame de cristaux de glace et d'impuretés : vase, gravier, sable, herbes, boue, coquilles, séparé par de l'eau liquide, d'où le nom populaire de *Bousin* qui leur est décerné.

Pendant l'hiver, aux périodes de gel succèdent des périodes de dégel complet et momentané; dans ce dernier cas, les portions congelées des fleuves et rivières se disloquent, et, sous l'action du courant, les blocs de glace disjoints se remettent en marche, s'amoncelant s'ils rencontrent un obstacle qui les arrête ou les maintienne. Ces haltes accidentelles de la masse glacée en mouvement font ainsi courir de graves dangers de bris et d'inondation aux riverains, aux navires et bateaux placés en aval du courant. Arrêtés ainsi et pressés les uns contre les autres, les glaçons finissent par n'en plus former qu'un seul par suite du phénomène connu du regel, créant une barrière menaçante et formidable. En se reportant à l'expérience de Tyndall, on peut ainsi expliquer le phénomène du regel par la Théorie mécanique de la chaleur. Si l'on réchauffe un morceau de glace, on en transforme une partie en liquide qui diminue d'autant son volume. Or si, par une action mécanique telle que la compression, on produit, ou il se produit, ce dernier effet, le calorique à fournir pour obtenir la fusion est donc réduit dans une proportion

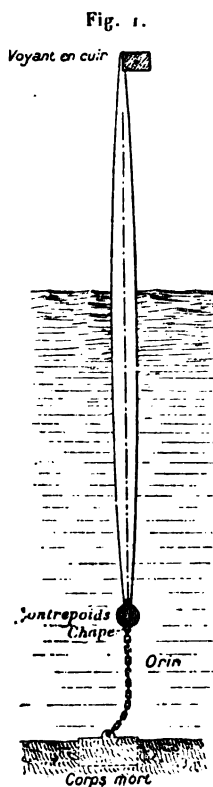
(1) DAGUIN, *Traité de Physique*, t. II.

correspondante. On peut déduire de ce qui précède que, à la température de la glace fondante et par le phénomène du regel, il peut néanmoins se former des embâcles d'une égale résistance aux embâcles constituées par le phénomène du gel aux températures inférieures à 0° .

La débâcle s'effectue soit lorsque la température s'élève, soit lorsque de fortes pluies ou des neiges augmentent le volume des eaux du fleuve ou de la rivière, ou que les marées de vives eaux se substituant à celles de mortes eaux exhaussent progressivement le niveau de la mer, dont l'agitation finira, dans les endroits non abrités, par disloquer les champs de glace et les emporter fragmentés au large avec le jusant.

Rappelons qu'à partir de $0^{\text{m}},04$ d'épaisseur la glace peut déjà porter des hommes isolés marchant sur des planches, et que, dès le moment où cette glace atteint $0^{\text{m}},12$ à $0^{\text{m}},15$ d'épaisseur, on peut y faire passer des voitures attelées.

Le charriage des glaçons sur les fleuves, notamment à leur embouchure



maritime ou dans les estuaires balisés, est un grave inconvénient pour le maintien des bouées flottantes de balisage, lesquelles résistent difficilement à l'incessant assaut qui leur est livré par les glaçons, et qui, si elles ne sont pas emportées ou détruites, chassent néanmoins sur leurs corps morts ou sur

leurs ancrés, ce qui amène des confusions de route, partant des causes de sinistres possibles pour les capitaines, pilotes et patrons, induits en erreur.

On pourrait apporter un remède à cet état de choses en substituant aux bouées ordinaires et dans les embouchures des fleuves ou estuaires maritimes des régions plus susceptibles d'être rapidement embâclées, des jalons flottants composés de sapines affectant sensiblement une forme ellipsoïde très allongée : le grand axe ayant 7^m à 15^m en moyenne, et le petit axe 0^m,40 à 1^m environ.

L'extrémité du jalon, destinée à être constamment immergée, serait coiffée d'une chape à organeau sur lequel on frapperait le bout libre de la chaîne de mouillage du corps mort ou de l'ancre; le poids de cette chaîne, ou un contrepoids convenablement calculé, maintiendrait dans une verticale constante le jalon flottant et à demi immergé. On peindrait la partie émergente du jalon d'une couleur appropriée (*fig. 1*).

Au contact du glaçon en dérive, le jalon se couchera et plongera sans résistance ni risques de détérioration et reparaitra aussitôt après le passage de la masse glacée.

Ce système est préconisé en Amérique par la « U. S. Light house Board » et pour le port d'Anvers par M. Horta, ingénieur de la Marine (¹).

Les techniciens, ingénieurs, officiers de marine ou capitaines au long cours peuvent donc être appelés à résoudre les problèmes suivants :

α. Se débarrasser des glaces sur les eaux dormantes, de façon à obtenir le plus large espace possible de nappe d'eau libre;

β. Disloquer, sur les eaux courantes, une embâcle, et rétablir un chenal libre en vue d'assurer, sans accidents, la débâcle régulière, et de donner accès à la navigation;

Dégager et protéger les navires et bateaux pendant l'embâcle et la débâcle.

Sans penser un instant à poser ici des règles absolues, nous examinerons ces questions sous leurs aspects les plus généraux de fréquence, et nous chercherons, guidés en cela par une certaine expérience, à fournir quelques indications pouvant être utilisées, nous l'espérons, avec fruit, pour ces travaux spéciaux.

Sur les eaux dormantes, il convient de dégager préalablement les navires ou bateaux, enserrés dans le champ de glace, et dont les coques subissent la poussée considérable en risquant de se déformer, sinon d'éprouver de graves avaries dans leurs œuvres vives, ou de se *décintre*r.

Si l'épaisseur de la glace ne dépasse pas 12^{cm} à 15^{cm} on peut l'attaquer au

(¹) *Notice sur la bouée d'hiver, American ice buoy, et son application au jaugeage des fleuves*, par M. Horta, ingénieur de la Marine, à Anvers (1892).

moyen de haches de charpentier ou de cognées, en l'entaillant par rayures perpendiculaires à l'axe du navire ou du bateau, et en dégagant peu à peu les parois du bâtiment en retirant sur le champ de glace même, au moyen d'anspects, de crocs, de barres, ou de leviers quelconques, les blocs découpés par fragments de 1^m de côté environ. On dégage ainsi tous les abords du bateau ou du navire, de façon à lui ouvrir une sorte de bassin d'eau libre qu'on entretient tel matin et soir et pendant la nuit s'il est nécessaire.

• Pour briser les glaces ayant une tendance à se reformer le long des bordages du bateau, on se servira de perches terminées de préférence par l'ajut de paniers d'osier qu'on agite du bord ou en se tenant sur l'*icefield* lui-même.

Pour le découpage du champ de glace on utilise avec succès les scies à longue lame épaisse et à large voie, telles que les emploient notamment les scieurs de pierres; on fixe un manche double à l'une des extrémités de la lame, on creuse un trou dans la glace pour amorcer le trait de scie et après avoir lesté l'extrémité libre de l'instrument d'une pierre, d'un plomb de sonde, ou d'un corps pesant quelconque, on l'actionne par le mouvement ordinaire de va-et-vient. Il y a intérêt à donner à la scie une inclinaison de 20 à 30° avec le plan du champ de glace; en agissant ainsi on obtient plus de mordant, et le contrepoids tout en déterminant une pression convenable de la lame, en facilite aussi automatiquement le mouvement de descente.

On peut se servir de *poînçons* ou pinces tels que les emploient les ouvriers poseurs de rails pour riper les voies, ou de barres à mines, pour disloquer les glaçons ou les détacher par fragments du champ de glace; mais comme, par les temps rigoureux, les métaux deviennent intenable aux mains des travailleurs, et qu'avec des gants on a des difficultés de manœuvre, le mieux est de faire confectionner des pieux en bois dur de 2^m,50 de longueur maxima et de 4^{cm} de diamètre, que l'on fait ferrer par une tige pointue dans la douille de laquelle on les emmanche.

Pour des causes quelconques certaines parties des champs de glace peuvent ne point avoir la même épaisseur générale; d'autre part, les efforts exercés par les travailleurs en tête du chantier amènent des dislocations inattendues sur les bords libres des coupures du champ de glace, d'où compromission de la sécurité des hommes employés. Il conviendra donc que, du bord du navire ou du bateau, des hommes de veille aient sous la main des lignes lovées et parées à être envoyées à la demande, ainsi que des bouées. Dès que le bâtiment sera dégagé suffisamment, on pourra amener une embarcation montée, ou mettre un canot ou bachot à l'eau, qui se tiendra en tête du travail, aidera à repousser les blocs de glace et pourra porter secours immédiat s'il en est besoin.

Près des hommes sur le champ de glace on étendra des madriers ou des planches, et on disposera une ou deux gaffes. On exigera au besoin de faire capeler aux travailleurs les ceintures de sauvetage et on amarrera à ces ceintures une ligne d'une quinzaine de mètres dont le bout libre pourra faire re-

tour à bord, ou être tenu sur le champ de glace par un aide placé à plusieurs mètres en arrière.

Si autour du bateau ou du navire l'épaisseur de la glace dépasse 20^{cm}, il peut devenir nécessaire d'employer les explosifs. Toutefois cette utilisation des engins détonants est assez ardue en raison des chocs que transmet la masse glacée aux membrures du navire ou du bateau, surtout s'il est de construction métallique. Avant de se servir des poudres, on cherchera préalablement à détacher mécaniquement, à l'aplomb immédiat des bordages du navire ou bateau, une ceinture de glace de 30^{cm} de largeur environ de façon à isoler la coque le mieux qu'il sera possible du contact immédiat du champ de glace.

On se trouvera bien dans ces conditions de l'emploi de la scie (il en est de 3^m de long); on déterminera à distance une nappe d'eau libre où l'on fera glisser les blocs détachés, les premiers ayant été enfoncés sous l'eau pour débayer le plus vite possible et donner de l'aisance aux travailleurs. A l'appui de l'emploi de la scie que nous préconisons et dont nous avons obtenu de bons effets, nous citerons un fait rapporté par le regretté amiral Pàris : « En 1855, un navire fut cerné par les glaces à Kil-Bouroum, à l'embouchure du Dnieper. Les essais de rupture à la hache furent infructueux parce que, dit l'amiral, la hache enfonçait très peu et laissait dans la rainure obtenue des fragments de glace qui amortissaient les coups suivants. Le bâtiment fut dégagé par le sciage de la glace, opéré cependant dans des conditions bien précaires, puisque faute d'engins spéciaux on se servit de lames de tôle dentelée de 3^{mm} à 5^{mm} d'épaisseur et munies à une extrémité de boulets et à l'autre d'une traverse pour la manœuvre ».

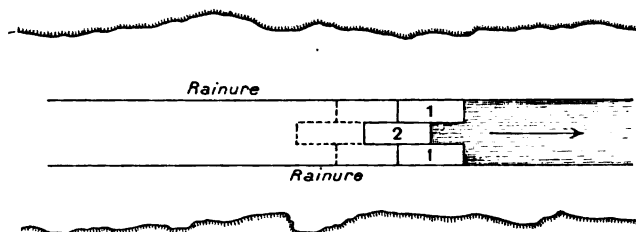
Dès que le navire, ou le bateau, sera dégagé, on maintiendra liquide l'eau ambiante dans laquelle il plonge, par les moyens d'usage, et sous une surveillance constante. Si le bateau est muni d'un moteur à vapeur, on pourra mettre les chaudières sous pression et au moyen d'un ajutage de tuyau *ad hoc* envoyer sur certains points contre les bordages mêmes des jets de vapeur qui suspendraient la congélation s'ils n'arrivaient pas à la vaincre sur diverses portions en contact immédiat avec la coque.

Pour rompre une embâcle sur les eaux courantes, il faudra chercher à établir immédiatement un chenal, que l'on tracera de préférence aux endroits où l'on constatera que la vitesse du courant atteint son maximum. L'épaisseur de la glace est généralement moindre à cet endroit. On examinera également le dispositif des rives ou quais de façon à se rendre compte des rapports d'eau plus ou moins considérables sur certains points, si le cours d'eau, ou l'estuaire, est sinueux. On se placera à l'aval pour commencer le travail de coupure. On cherchera à s'organiser de façon que les blocs, détachés, entraînés par le courant, puissent trouver une facile issue; il faut, en effet, éviter la reconstitution, plus loin, d'une autre embâcle formée elle-même des glaçons fragmentés avalants. Au besoin, on tirera à terre ces blocs suffisam-

ment réduits pour pouvoir être halés sans trop d'efforts sur la rive, par des attelages ou des équipes. Pour aider à la sortie de l'eau de ces blocs, on les fera glisser sur des madriers, des planches, des rails, des poutres, disposés en rampe douce à partir du plan d'eau. Pour haler ces glaces à terre on les entourera d'une chaîne d'une largeur convenable; c'est plus sûr et aussi rapide que les crochets-clameaux et les becs de perroquets.

Pour créer des chenaux par procédés mécaniques, on adopterait, avec succès, le dispositif suivant (*fig. 2*), qui, à notre avis, et après épreuve, nous

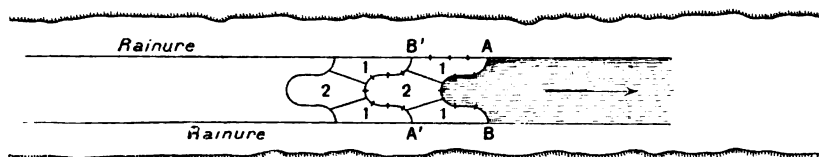
Fig. 2.



semble le plus accéléré. De chaque côté de la largeur fixée pour le chenal, parallèlement aux rives, et vis-à-vis de chacune d'elles, on pratiquera une rainure dans la glace. On entaillera ensuite le champ de glace, en cherchant à fractionner les blocs rectangulaires 1 et 1, et ensuite 2. On pousse à l'aide de gaffes ou de crocs les rectangles détachés, si le courant ne les entraîne pas lui-même, ce qui arrive le plus souvent.

Pour les chenaux où l'emploi des explosifs est indiqué, ou de grande largeur, on pourrait adopter le dispositif à fer à cheval (*fig. 3*), et placer les chapelets de cartouches suivant la ligne AB ou AB', A'B.

Fig. 3.



Il nous paraît difficile d'établir des règles mathématiques sur les largeurs à donner aux chenaux à creuser à travers les champs de glace; on ne peut que fournir des indications, les travaux à effectuer se modifiant suivant les localités, le courant, la largeur ou la sinuosité des cours d'eau ou de l'estuaire.

D'après nos remarques, nous pensons que le chenal à tracer, pour les rivières et fleuves embâclés de largeur moyenne, 60^m à 150^m, peut être de 12^m à 20^m environ; pour les fleuves et estuaires de grande largeur, 200^m à 600^m et au delà, peut être de 80^m à 150^m et plus s'il s'agit, dans les deux cas, de donner passage à une banquise semblable à celles formées en Seine, en Loire et en Saône, pendant l'hiver 1879-1880.

Ainsi que nous l'avons dit pour les eaux dormantes, les procédés de déglaçage pour des épaisseurs ne dépassant pas 12^m à 15^m sont les mêmes sur les eaux courantes pour des épaisseurs semblables. La hache, la scie, les leviers, les barres à forer peuvent être employés avec succès.

Il y aura avantage à se servir d'une grosse embarcation, grand bachot, margotat, plate, bac, ponton, ou tout autre bateau solidement construit, dont on revêt l'avant d'une armature *ad hoc*, en doublage de bois, placée extérieurement et recouverte d'une tôle de 5^{mm} à 7^{mm} environ. On embarque un certain nombre de manœuvriers, et, de terre au moyen d'une ligne, on amène l'embarcation à l'aplomb et, contre les bords du champ de glace, en aval. Les hommes impriment à l'embarcation un mouvement de tangage en se portant de l'avant à l'arrière, et de roulis en se balançant d'un bord sur l'autre.

L'ondulation liquide qui se transmet sous la glace fait détacher les blocs en bordure. On avance l'embarcation au fur et à mesure que le champ de glace se disjoint, et des manœuvriers armés de gaffes ou de crocs aident les glaçons à prendre le fil du courant qui les emporte.

On peut aussi charger cette embarcation d'un poids quelconque ou d'hommes, et après l'avoir fait amarrer à une longue remorque sur laquelle on attelle six ou dix chevaux, on prend du champ; mettant les attelages au trot, on la lance sur les glaces qu'elle fend au choc, sur lesquels elle monte, et qu'elle disjoint par son propre poids en les écrasant.

Pendant l'hiver 1892-1893, en Marne, en utilisant cette dernière méthode alternée avec l'emploi d'une équipe de dix mariniers armés de cognées, nous avons pu creuser en vingt heures de travail, divisées en deux reprises de dix heures, un chenal de 502^m de long sur 14^m de largeur dans un *ice-field* de 13^m à 15^m d'épaisseur, et préserver d'une banquise d'amont de 5^m d'épaisseur, constituée en amoncellement touchant le fond et qui les aurait certainement emportés trois bateaux chargés d'un total de 780 tonnes, et d'une valeur réunie de 600 000^{fr}. Les frais de l'opération revinrent à 450^{fr}. Nous étions disposés à nous servir de charges d'explosif Favier pour le cas où, avant ou pendant la débâcle, la banquise eût eu besoin d'être fragmentée. Nous avions calculé les charges à raison de 3000^{gr} pour 1^m, 50 de profondeur moyenne, ce qui à l'explosion du fourneau nous permettait de compter sur des entonnoirs d'environ 4^m de rayon. Nous reviendrons ultérieurement sur cette question de l'emploi des explosifs et du choix de leur nature.

Dans le cas où le temps ou la possibilité manqueraient pour créer un chenal de longueur suffisante à l'écoulement convenable des glaces et que néanmoins des navires et bateaux fussent en danger, on établira à l'avant, et du bord du large de ces navires et bateaux, pour les bâtiments mouillés contre la rive, et des deux bords pour ceux placés au large, une sorte de doublage en madriers de 2^m de long sur 0^m, 04 d'épaisseur, jointifs et verticaux, dont les deux tiers de longueur seront immergés. On multipliera les amarres, qu'il y aurait avantage à établir en cordage métallique dans la proportion de une sur quatre; les cor-

dages métalliques résistant beaucoup mieux au heurt et au contact des glaçons dont les aspérités ne peuvent rien sur les torons, alors qu'avec les câbles en chanvre ces derniers sont rapidement usés, déchiquetés, et rompus par les multiples arêtes des blocs en dérive. On aura à bord des hommes de veille armés de bâtons de marine, d'espars ou de longrines permettant de repousser des glaçons. Si le bateau est à vapeur on le tiendra sous pression après avoir dégagé les glaces à l'arrière, à l'aplomb de l'hélice, de façon à permettre non pas d'évoluer, ce qui serait une superfétation, mais, si les amarres ou les câbles des ancrs manquaient, de résister à l'assaut des glaces, en mettant la machine en route sur la marche avant, en vitesse s'il est nécessaire, afin d'essayer le plus longtemps possible d'éviter de tomber en travers de la débacle, de pouvoir étaler le courant, et d'avoir le temps nécessaire de s'amarrer ~~sur~~ mouiller sur câble métallique, ou double aussière.

1 Kol. Thah
93 dév. facile

sommes bien trouvés, dans une circonstance périlleuse de dé-
fait battre à l'avant d'un bateau en danger que, le temps ayant
établir un chenal, il fallait néanmoins préserver, un éperon en
é par des sapines de 20^{cm} d'équarrissage et 10^m de long fortement
s, assemblées en forme de V, et qui flottantes à l'avant du bâti-
prolongeant les bords, rejetaient de deux côtés les glaces que la
it drosser vers l'étrave de la coque en péril.

onditions semblables, pour quatre bateaux arrêtés en ligne de
par une gelée intense, — 16° (le fleuve charriant depuis 5 jours),
attre à l'avant du bateau chef de file, et diagonalement à l'axe du
vant un angle de 20°, une série de cinq pilots de 20^{cm} de diamètre
longueur (dont 1^m enfoncé dans le lit du fleuve), et espacés
xe en axe. Nous moisâmes ces pilots par des madriers horizontaux
passeur, sur 3^m de long, cloués avec pointes longues de char-
formant glissières. La tête des pilots émergeait de 80^{cm} environ
ir des glissières était de 75^{cm} émergés et de 52^{cm} immergés : en-
'. Nous nous servîmes du pont du bateau même pour installer la
des deux premiers pilots frappés, sur lesquels on avait édifié un
oc. Par mesure de prudence toutes les têtes de pilots furent
: une aussière du bord, et, des arcs-boutants constitués par deux
sapines de 15^{cm} de diamètre et 9^m de longueur contretinrent les pilots 1 et 3 en
prenant appui sur la berge. Le convoi fut sauvé de la débacle qui survint six
heures après l'achèvement des travaux de préservation qui avaient duré un
jour et une nuit, au cours de laquelle on se servit de la lumière Wells.

L'épaisseur moyenne des glaçons en débacle était de 20^{cm} à 25^{cm} et leur
surface de 7^m à 12^m. Une fois le premier heurt passé contre la tête de glissière,
ces glaçons, obéissant à la direction diagonale imprimée, dégageaient la file
des bateaux, dont les équipages n'avaient qu'à veiller au moyen de barres,
d'anspects, de crocs, de gaffes, etc. Les pilots et madriers avaient été pris en lo-
cation, sous réserve d'effectuer le paiement total des pièces mises hors d'usage.

Avec les indemnités de ce chef, l'apport et le remport des appareils de battage, et la main-d'œuvre, cette opération revint à 788^{fr.} Ces six bateaux représentaient ensemble 1400 tonnes et une valeur réunie de 1 100 000^{fr.}

Contre les champs de glace de 0^m,75 à 1^m d'épaisseur, on pourrait se servir avec succès du choc de bateaux à vapeur construits spécialement en vue de cet emploi. Il est évident qu'il faut des navires robustes dont toute la partie avant est solidement édifiée en métal résistant, tel que l'acier. On munira ces navires de deux ou trois compartiments à eau placés à l'avant et à l'arrière, et permettant en les remplissant par des procédés extra-rapides, et en les vidant de même, de faire varier vivement et à volonté leur tirant d'eau, soit à l'avant, soit à l'arrière.

Avant que le steamer prenne son élan contre les glaces, on admet l'eau dans le compartiment arrière de manière à relever le plus possible l'avant, construit à profil courbe accentué, forme cuiller, qui peut ainsi monter sur la glace. Si, néanmoins, la glace résiste à l'élan et au choc du bâtiment, on porte, au moyen des réservoirs d'eau, le poids sur l'avant, et cette surcharge détermine la rupture de la surface congelée.

Parmi les spécimens les plus puissants de ce genre de navire, on peut citer comme type le *Murtaja*, vapeur à hélice construit à Stockholm aux usines de Bergsund pour le compte du gouvernement finlandais. Le *Murtaja* est destiné à tenir ouvert, pendant tout l'hiver, le port de Hango, où la glace atteint 0^m,70 d'épaisseur moyenne. Ce steamer-bélier a facilement raison de ces masses résistantes et manœuvre à l'aise au milieu des chocs des énormes glaçons qu'il vient de détacher. Le *Murtaja* a une longueur de 47^m entre perpendiculaires, sa largeur est de 10^m,97, son creux de 7^m,60 et son tirant d'eau arrière de 5^m,80; son déplacement est de 1070 tonneaux. Une machine compound de 300 chevaux de puissance, avec condenseur à surface, lui donne son impulsion. Le navire est divisé en compartiments étanches, dont les deux extrêmes forment les réservoirs d'eau nécessaires pour le mouvement de basculement mécanique. Tout autour de la coque règne un véritable cuirassement en fer, dont l'épaisseur est de 254^{mm} à la ligne de flottaison pour descendre à 158^{mm} dans les parties basses. Dans ses travaux de déglacage contre des bancs de 0^m,70 d'épaisseur moyenne, la vitesse normale de ce vapeur était de 10 à 12 nœuds à l'heure (1).

Les chocs répétés de ces navires, outre qu'ils détachent des glaçons considérables, ont encore pour résultat de déterminer dans les champs de glace des fentes très étendues qui aident à leur dislocation générale.

Dans cet ordre d'idées, à titre de renseignements et à toutes les fins utiles, nous mentionnerons qu'en décembre 1890 le service de l'Inspection générale de la Navigation de la Seine fut prié, par la Sous-Commission de Navigation du Conseil Municipal de Paris, d'examiner s'il était possible à l'aide de ba-

(1) En Amérique, on se sert de bateaux semblables, à roues.

teaux à vapeur armaturés et en utilisant la flottille des Bateaux-Omnibus, de briser la glace formée dans la traversée de Paris, et de maintenir les résultats acquis par ces travaux de déglacage. Cette intéressante question fut étudiée avec beaucoup de soin par les Inspecteurs de la Navigation à vapeur de la Seine, de concert avec l'Ingénieur de la Compagnie des Bateaux-Parisiens.

Au point de vue de l'aménagement spécial de chaque bateau, voici les *desiderata* auxquels on s'était arrêté. La coque devait être revêtue, outre l'éperon ou armature spéciale, d'une chemise en bois de 0^m,05 à 0^m,06 d'épaisseur, émergeant de 0^m,90 et immergée de 0^m,60; ce revêtement étant indispensable pour protéger les tôles des œuvres vives contre le coincement et les arêtes des glaçons pouvant perforer ou couper les coques minces.

La solution la plus économique trouvée reposait sur un système de panneaux indépendants, de 4^m de long, rendus solidaires par des charnières, et fixés au bateau par une griffe à la partie supérieure. Des potelets d'équarrissages différents formaient cales et permettaient à la chemise d'épouser les formes du bateau. Les panneaux d'étrave étaient blindés d'une tôle de 0^m,02 d'épaisseur. La cohésion de l'ensemble était assurée par des chaînes entourant les panneaux et par des traverses placées sur le pont. Le devis approximatif de cet aménagement s'élevait à 800^{fr} par bateau, y compris l'installation d'une sorte de cage destinée à protéger l'hélice des glaçons suffisamment résistants pour provoquer la rupture du propulseur.

On rechercha le nombre de bateaux à mettre en service. Pour maintenir les chenaux libres, dans le cas où les tentatives eussent été couronnées de succès, chaque bateau eût dû limiter son champ d'action à une longueur de 500^m avec une largeur minima de rivière de 100^m. Chaque bateau eût donc eu à débayer et maintenir libre une surface de 50000^m², ce qui était bien suffisant.

La traversée de Paris, longue de 12^{km}, eût donc nécessité vingt-quatre bateaux.

Le bief entier, ayant 25^{km}, en eût réclamé 50. Or, les frais d'équipage se fussent élevés, par journée et nuit de travail réunies, à 72^{fr} plus, pour des machines de 80 chevaux environ, 2 tonnes de charbon par 24^h = 108^{fr}, plus graissage et divers 5^{fr}, soit un total de 185^{fr}. Il eût encore fallu ajouter à cette somme le prix de la location quotidienne à l'Administration municipale, soit 100^{fr}, ensemble 285^{fr} par bateau.

On établit les devis sur dix jours de gel continu, ce qui portait à 87600^{fr} pour vingt-quatre bateaux, et à 182500^{fr} pour cinquante bateaux, les frais de cette opération aléatoire, non compris le cas possible de la perte d'un de ces bateaux, d'une valeur de 50000^{fr} environ, et dont la Ville de Paris aurait été responsable.

Les conclusions du rapport des Inspecteurs de la Navigation de la Seine ne furent pas favorables à l'accomplissement de ce projet, tant en raison des frais énormes qu'il eût comportés, que pour le peu d'efficacité qu'on eût pu en attendre à cause de la forme droite des étraves des Bateaux-Parisiens qui eussent attaqué le champ de glace, de 0^m,30 d'épaisseur moyenne, en agis-

sant comme une hache gigantesque, sur une surface très réduite par conséquent, et dans le sens du maximum de résistance de la surface congelée. De plus, au point de vue manœuvre, tout virage eût été interdit au bateau, qui n'eût pu progresser qu'en suivant une ligne brisée, à angles très aigus, et en battant de l'arrière pour amorcer chacune de ces lignes. Le rapport officiel ajoute que le froid peut sévir d'une façon assez intense pour que les glaçons disloqués à l'avant se ressoudent à quelques mètres en arrière, et s'opposent au recul du bateau qui sera ainsi bloqué, inutilisable, et peut-être perdu.

Quelle que soit la méthode employée pour le tracé du chenal, celui-ci une fois formé tend, par le gel, à se barrer de nouveau. Pour éviter ce grave inconvénient, il convient d'y faire circuler un canot à avirons, un steam-launchs et, ce qui serait mieux pour les chenaux de grande largeur, un bateau à vapeur, à aubes de préférence.

Nous examinerons rapidement dans ce qui suit l'emploi des explosifs sous forme de charges superficielles et immergées, ainsi que les procédés de mise de feu. M. le chef de bataillon du Génie Lambert mentionne dans son rapport que, à Saumur en 1879-1880, on fit détoner une file continue de cartouches de dynamite n° 1 ficelées bout à bout sur des tringles, soit une longueur totale de 150^m et un poids de 100^{kg} d'explosif employé pour toute l'opération. La banquise présentait une épaisseur de 1^m et après l'explosion des charges on constata des fissures nombreuses rayonnantes, et un sillon de 0^m,40 de profondeur moyenne à l'aplomb des tringles supportant l'explosif (1).

Le bras gauche de la Seine à Bougival est barré par la machine et la chute de Marly, et un peu en amont par une passerelle destinée au service de l'écluse de Bougival. Déjà en 1879-80 les glaçons amoncelés en une formidable embâcle dans cet endroit resserré firent couler à fond, au moment de la débâcle occasionnée par le dégel, de nombreux bateaux et chalands immobilisés dans ce petit bras, où ils avaient primitivement cherché un refuge. Il convenait de chercher à éviter de semblables désastres et suivant le rapport de M. le Capitaine de Félix, du Génie (2), on employa donc en 1890-91 à Bougival, sur le petit bras de la Seine, recouvert d'un *ice-field* de 0^m,30 d'épaisseur, un chapelet de pétards de mélinite ou d'explosifs Favier espacés de 1^m environ, et reliés par du cordeau détonant. Les pétards avaient été préalablement déposés dans une rainure faite de main d'homme, et à une profondeur moyenne de 0^m,10. Une fois les charges placées on en effectua le bourrage en les recouvrant de neige. Après l'explosion on constata une coupure continue de 3^m de longueur, ce qui constituait déjà un petit chenal qu'on élargit rapidement. Grâce à ces travaux préparatoires, la débâcle s'opéra le 26 janvier 1891, sans accidents.

(1) *Revue du Génie*, septembre-octobre 1891.

(2) *Ibid.*, septembre-octobre 1891.

Dans les deux exemples que nous venons de citer on peut considérer les résultats acquis comme très bons. Il arrive que les fissures ne se propagent pas toujours aussi bien et pour obtenir un résultat convenable il devient utile de se servir d'une ligne non interrompue de pétards. C'est ce qui eut lieu pour une embâcle qui avait pris naissance le 10 janvier 1891 en amont du pont-route de Conflans-Andrésey. L'existence de cette banquise constituait un danger très sérieux pour ce pont, ainsi que pour celui du chemin de fer et pour le barrage d'Andrésey, situés en aval. Au moment de la débâcle, en effet, une telle barrière s'opposant au passage des parties supérieures en descente eût pu retenir momentanément les masses d'eau et de glaces venant de l'amont, pour les laisser se répandre ensuite avec une irrésistible impétuosité, à l'instant où la pression atteignant son maximum d'intensité eût dépassé les limites de résistance de cette barrière. C'était la destruction certaine des ouvrages d'art et des nombreux bateaux amarrés à la rive et emprisonnés à cet endroit. Un détachement de sapeurs du génie, sous le commandement d'un de nos camarades, M. le lieutenant Tardi, fut envoyé de Versailles pour, de concert avec le service des Ponts et Chaussées, procéder aux opérations de rupture de l'embâcle.

Avant de s'attaquer à l'embâcle du pont-route, il fallait préalablement rendre libre le bief entre celui-ci et le pont du chemin de fer, où la glace aurait pu s'opposer à la descente des glaçons détachés de l'embâcle. On disloqua cette nappe de glace de 0^m,10 d'épaisseur au moyen de files de pétards de mélinite (135^{gr}) espacés de mètre en mètre, et reliés au moyen de cordeau détonant. Les blocs de glaces détachés étaient ensuite débités à la hache par une équipe de marinières embauchés à cet effet.

Une fois ce passage ouvert, commença le travail de rupture proprement dit : on s'occupa de dégager la première travée de la rive droite, soit $\frac{1}{4}$ de la largeur du fleuve, où la glace ayant 0^m,50 d'épaisseur ne se présentait pas néanmoins sous forme d'embâcle jusqu'à environ 100^m du pont, alors que sur les trois autres quarts l'épaisseur était de 1^m.

On commença, bien entendu, par l'aval, en pratiquant une coupure à la hache dans la glace, de façon à isoler un bloc rectangulaire d'environ 10^m de longueur (dans le sens du courant) sur 15^m de largeur. Pour amorcer les lignes de fragmentation on creusa à la hache cinq rainures en recoupement sur la surface du bloc ; chacune d'elles recevait en son centre un pétard de 200^{gr} d'explosif Favier, posé à plat, et recouvert d'un bourrage de sable. On reliait ces pétards au moyen de cordeau détonant à la mélinite, et le feu était donné au moyen d'un bout de Bickford et de capsules de fulminate de mercure.

Les résultats après l'explosion étaient parfaits, et le bloc fragmenté était aussitôt entraîné par le courant. Les plus sérieuses difficultés furent celles que l'on rencontra à la coupure de l'embâcle proprement dite. Nous avons mentionné qu'à cet endroit l'épaisseur moyenne de la banquise dépassait 1^m, et les chapelets de cartouches étaient insuffisants pour déterminer un sectionnement complet des parties congelées. On eut recours à de véritables four-

neaux de mines creusées à une profondeur de 1^m environ et qui étaient chargés de 2500^{gr} d'explosif Favier, constitués par des cartouches en nombre suffisant reliées à une tringle et recouvertes d'un bourrage de sable. La mise de feu était faite au moyen de l'électricité (amorces de fulminate disposées pour l'inflammation électrique, et coup de poing électrique, ce dernier fonctionnant sur la rive). La gerbe de l'explosion atteignait une trentaine de mètres, en produisant un entonnoir de 3^m de rayon, recomblé par les débris de l'explosion, et fractionnait encore la glace au delà de ce rayon, de telle sorte que les sapeurs et les mariniers détachaient à la gaffe des blocs de fortes dimensions qu'ils envoyaient au fil du courant.

Sous ces glaçons en marche se dégageaient d'énormes quantités de *bousin*.

Quand ces glaçons présentaient un volume par trop considérable, ils étaient brisés de suite par la projection à leur surface d'un pétard de mélinite dont le cordeau porte-feu était allumé préalablement sur la berge.

En une semaine on ouvrit ainsi un chenal de 70^m environ de largeur et de 300^m de longueur. Le cube déblayé représentait 10000^m de glace; on consumma 160^{kg} environ d'explosif.

La débâcle eut lieu dans la nuit du 24 au 25 et aucun des nombreux bateaux amarrés à la rive n'eut à souffrir, pas plus que les ouvrages d'art.

Nous nous sommes particulièrement étendus dans le compte rendu de cette opération par cela même qu'elle représente, à notre avis, une sorte de résumé de l'emploi des charges superficielles pour les travaux spéciaux que nous traitons dans cette Note, et que ce déglacage à Conflans présente en somme les conditions les plus ordinaires vis-à-vis desquelles l'ingénieur, l'officier de marine et le capitaine peuvent se trouver.

De ce que nous venons de voir par l'exposé qui précède et d'après ce que nous avons pu reconnaître dans la pratique, l'emploi des charges superficielles ne donne qu'un résultat relativement faible.

Ce résultat est bien meilleur si l'on emploie les charges immergées formant torpilles, dont elles ont tous les effets augmentés du coefficient de l'excellent bourrage donné par la glace, qui double au moins les effets propres du bourrage fourni déjà par la masse liquide.

Voyons d'abord quels sont les effets extérieurs d'une charge immergée. Lors de la mise de feu, le fait de la brusque déflagration des poudres a pour conséquence immédiate la production d'une grande masse de vapeurs et de gaz élevés à la température de 2400° environ. Subitement ces corps élastiques se détendent, se développent et opèrent en tous sens un refoulement des molécules liquides, afin de se créer, dans le milieu ambiant, un logement qui puisse les contenir. Cette chambre affecte momentanément la forme d'une sphère, décrite du centre des poudres avec un rayon dont la longueur est tout d'abord restreinte.

Surviennent ensuite des effets consécutifs de deux sortes, les uns extérieurs, les autres intérieurs.

Cette énorme bulle de gaz qui vient de se former au sein de la masse li-

quide obéit incontinent aux lois de la pesanteur et tend avec vitesse vers le zénith. La sphère représentant la chambre aux gaz se transforme en ovoïde, et le nouveau solide a son grand axe vertical. Les proportions de cet ovoïde prennent aussitôt de l'ampleur. On ne tarde pas à voir à la surface libre du fleuve ou de la mer un soulèvement rapide qui s'emboutit en dôme. Puis apparaît un grand segment sphérique, et la bulle ovoïdale vient crever le sommet de ce segment pour s'échapper enfin dans l'atmosphère.

On conçoit que si, à son arrivée à la surface liquide, la bulle ovoïde rencontre une couche de glace qui l'empêche de se répandre dans l'atmosphère, l'énergie des gaz dont elle est composée s'épuise contre cette résistance secondaire qui leur est opposée par la surface congelée pour leur libre diffusion dans les airs, et que les glaçons ne tardent pas à être disloqués sur une grande étendue et crevés à l'aplomb de la ligne de moindre résistance du fourneau immergé.

D'autre part, les effets intérieurs d'une explosion sous-aquatique consistent en une commotion violente que subissent les points circonvoisins de la charge immergée. Ce mouvement de trépidation dont le mouvement s'étend loin résulte de l'expansion des gaz de la matière explosive, lesquels frappent brusquement et refoulent de toutes parts le milieu dans lequel ils se développent. L'eau étant un milieu incompressible transmet aussitôt choc et refoulement dans toutes les directions. Cet ébranlement se propage dans la masse liquide avec une vitesse de 1400^m à la seconde et donne ainsi naissance à une onde dont la puissance décroît proportionnellement au carré de la distance. On a donc intérêt, dans ces conditions, à immerger à une faible profondeur dans le liquide les charges que l'on veut faire détoner sur le champ de glace, de manière à bénéficier simplement d'un bourrage naturel suffisant donné par le liquide incompressible, obtenir une onde convenable à la dislocation de la surface congelée, tout en permettant à l'énergie des gaz développés d'opérer le bris du meilleur des glaçons, et cela en ne perdant pas de vue qu'on doit employer l'explosif avec économie.

Comme on opère quelquefois dans le voisinage des bateaux, il convient de limiter les effets des charges immergées à des rayons relativement restreints; car il est important de ne pas oublier que cette commotion intérieure produite au sein du liquide et due à la puissance de détente des gaz est loin de constituer un phénomène inoffensif pour les corps plongés. Jusqu'à une certaine distance du centre d'explosion, distance qu'on peut appeler le rayon de rupture, l'onde de refoulement fait brèche aux corps plongés; par delà cette zone et jusqu'à d'autres limites, elle les écrase ou y cause des avaries.

On le voit, si ces phénomènes sont avantageux pour le bris des glaces, il n'en est pas de même pour les coques de bateaux et navires qui pourraient se trouver dans le rayon de rupture. C'est pourquoi tout près d'une carène, on ne saurait se servir sans risques graves de charges immergées pour les travaux de déglacage; il faudrait recourir aux charges superficielles ou aux procédés mécaniques.

Il nous paraît assez difficile de fixer exactement les limites de la zone dangereuse développée à l'issue d'une explosion de charge immergée et ces lois ne sauraient se condenser en formules algébriques; la charge immergée, le milieu, l'épaisseur des glaces, la distance des corps plongés à la charge, sont autant de facteurs des plus variables.

Il nous semble ardu de procéder autrement que *par expérience*, pour trouver le rayon du cercle dangereux. Toutefois, il est à noter que les effets latéraux d'une charge immergée sont moindres que les effets verticaux.

Avec les explosifs employés ou fournis par le Génie militaire, à la requête du Génie civil, la dépense est relativement forte. Pour les besoins du Commerce et de l'Industrie, où les intérêts des particuliers visent à la plus complète économie, on a cherché à combiner des explosifs à bon marché et destinés néanmoins à produire des résultats d'une puissance presque égale aux explosifs de guerre : telles sont les poudres de sûreté inventées par le colonel du Génie Favier, qui prennent rang parmi les hydrocarbures nitrés (azotate d'ammoniaque et *nitro-naphtaline*.)

La dynamite ou nitroglycérine a le grave inconvénient de geler à $+ 8^{\circ}$, ce qui à, des températures de $- 10^{\circ}$ à $- 16^{\circ}$, en rend le transport des plus dangereux. Généralement on suppose à tort qu'il est de toute nécessité de faire dégeler la dynamite pour s'en servir d'une façon efficace. Outre que cette opération de dégel présente de sérieux dangers, elle est souvent précaire, et toujours longue. On s'en affranchira en amorçant les cartouches avec des capsules de fulminate à 2^{es}.

La mélinite, employée par le Génie militaire pour le compte des administrations de l'État ou des particuliers, revient à l'intéressé à 7^{fr}, 50 le kilogramme. C'est donc un explosif de prix élevé.

Les effets dynamiques des poudres de sûreté Favier répondent largement aux besoins quelconques créés par les travaux spéciaux de déglacage qui nous occupent.

Ces explosifs ont l'avantage sur la dynamite d'être insensibles à la gelée, et sur la mélinite de ne coûter que 3^{fr} à 3^{fr}, 50 le kilo. Ces poudres peuvent comme la mélinite être transportées sans aucun soin spécial. Elles ne sont pas assimilées sur les chemins de fer aux marchandises dangereuses, pourvu qu'elles ne voyagent que séparées des amorces de fulminate. Les explosifs Favier, qui sous l'action d'un corps enflammé demeurent inertes et qui résistent aux chocs violents, ne détonent que sous l'influence de capsules ou de détonateurs au fulminate de mercure. Ils ont par conséquent les mêmes propriétés avantageuses que la mélinite. Nous les préconisons. Les détonateurs pour les poudres de sûreté Favier sont calculés à raison de 1^{er} minima de fulminate de mercure. L'amorçage des cartouches se fait comme avec les cartouches de dynamite, en pratiquant un trou au centre de la matière pulvérulente contenue dans le milieu de la cartouche, après avoir relevé les bords du papier extérieur qui enveloppe cette dernière et en y enfonçant complètement la capsule. On fixe ensuite la mèche au papier au moyen d'une ficelle.

On doit mettre le détonateur dans une cartouche entière afin d'avoir une énergie initiale plus puissante. Il n'y a pas à craindre l'inflammation préalable du produit par le contact de la mèche, comme avec les dynamites; car les poudres Favier sont, nous l'avons dit, incombustibles. On peut donc enfoncer le détonateur aussi profondément que possible; il se trouve ainsi mieux préservé contre les chocs, dans le bourrage à sec.

La conservation des explosifs Favier ne réclame comme précautions que de les emmagasiner dans des locaux non humides, de disposer les caisses sur des traverses ou chantiers, et de ne pas ouvrir les cartouches. Il va de soi, en effet, que si ces cartouches sont ouvertes ou brisées et demeurent ainsi longuement en magasin, elles deviennent inutilisables, comme tous les explosifs, d'ailleurs, contenant des hydrocarbures nitrés, et principalement du nitrate d'ammoniaque, et c'est le cas.

Les ratés ne proviennent pas, la plupart du temps, de l'explosif, mais bien des détonateurs ou capsules de fulminate qu'on a eu le tort de laisser imprégner d'humidité; il est donc de toute nécessité de conserver les capsules parfaitement au sec, et d'éviter en les manipulant de les heurter ou d'y laisser introduire des corps durs dont le moindre inconvénient serait de faire éclater la capsule entre les mains de l'opérateur, sinon de le blesser grièvement lui-même.

Pour les charges immergées on peut également employer la poudre noire ordinaire. C'est ce que nous fîmes il y a quelques années pour briser des glaces de 21^m environ, d'épaisseur presque uniforme, dans un bassin de 3025^m de superficie. Nous fîmes prendre des bouteilles dites de Saint-Galmier, qui représentent une capacité de 0^{lit},95 environ, et dans lesquelles on déposa 600^{gr} de poudre noire. On fermait ces bouteilles au moyen de bouchons de liège commun, perforés à la queue de rat pour le passage du Bickford imperméable dont un bout était noyé dans la poudre. On coiffait le bouchon d'une enveloppe de mastic de vitrier, l'unissant intimement au cordeau porte-feu qui le traversait à frottement dur, et au goulot. Un fil de fer formant boucle était serré au col de la bouteille que l'on accrochait, après avoir allumé le bout libre du Bickford à un croc fixé à l'extrémité d'une gaule de 6^m environ. Un trou à bord en sifflet était creusé à la hache et à la pioche dans la glace, un peu en arrière de la partie que l'on cherchait à briser. On introduisait cette gaule, en l'inclinant le plus horizontalement possible, sous le champ de glace, en poussant aussi loin qu'on le pouvait le trou d'entrée, la bouteille toujours accrochée. La longueur du Bickford était calculée pour une minute de combustion. La partie émergente était terminée par un œil de pie en filin auquel on fixait le crochet d'un sac de sable pour maintenir cette gaule le plus près possible de l'horizontale et la retenir sur le champ de glace.

L'explosion en se produisant disloquait la surface congelée sur un rayon de 6^m environ et la fendait dans un périmètre double. On pourrait opérer de même en eaux courantes et obtenir des résultats aussi satisfaisants. (Ce sys-

tème, ou un analogue, serait employé par les Allemands; nous n'étions point au courant de ce fait, quand nous procédâmes ainsi que nous venons de l'indiquer.)

Pour donner le feu aux charges, on se sert d'une fusée lente désignée aussi sous le nom de *fusée de sûreté* ou de *cordeau Bickford*. C'est un filet continu de poudre fine fortement tassée dans un canal de 3^{mm}, existant au centre d'une corde composée elle-même de deux enveloppes en étoupe ou en fil goudronné enroulées en spirale l'une sur l'autre et en sens contraire. Le diamètre extérieur de la corde est d'environ 5^{mm}. Telle est sa composition générale. Le cordeau Bickford imperméable, qui doit être utilisé de préférence dans les travaux de déglacage, est recouvert d'une enveloppe en gutta-percha ou en caoutchouc. Cette fusée lente brûle régulièrement, même sous l'eau, à des profondeurs de 10^m, avec une vitesse de 1^m en quatre-vingt-dix secondes.

Avant de se servir de cet artifice, il faut toujours avoir soin d'en vérifier le bon état, notamment qu'il n'est pas écrasé à certains endroits, et qu'il n'existe pas de solutions de continuité. Il est bon de faire brûler à l'air libre une longueur de 1^m à 2^m prélevés sur le paquet de Bickford qu'on se dispose à mettre en œuvre, et d'en vérifier ainsi préalablement la vitesse de combustion.

On peut laisser séjourner cette fusée imperméable sous l'eau pendant plusieurs jours. Elle offre donc d'excellentes garanties pour la mise de feu aux charges immergées quelques secondes et destinées à la dislocation des champs de glace.

Pour mettre le feu à une charge, on coupe un morceau de Bickford de longueur convenable pour permettre à la personne de s'éloigner avant l'explosion, en se basant sur la durée de combustion de 1^m en quatre-vingt-dix secondes. Dans la capsule de fulminate, on enfonce le bout de Bickford jusqu'à refus, et à toucher le fulminate. On enfonce ensuite la capsule ainsi amorcée dans la charge préalablement renfermée dans un récipient clos quelconque, étanche, et en ayant soin d'assembler au moyen d'un peu de mastic chatterton (1) la partie du Bickford passant par le col dudit récipient. Nous venons de dire qu'ayant à faire détoner des charges immergées, et cela une minute environ après leur introduction dans l'eau, nous nous servîmes simplement, pour luter les Bickfords à l'orifice des récipients, de mastic très gras de vitrier, qu'un marinier préservait du gel jusqu'au moment de l'emploi, en le roulant en permanence dans ses mains. Ce moyen primitif nous réussit fort bien.

(1) Le chatterton est livré dans le commerce sous forme de bâtons qui doivent être conservés dans un endroit frais. C'est un mélange de gutta-percha, de goudron et de résine. Avant de s'en servir, il faut le ramollir en le soumettant à l'action de la chaleur. On peut utiliser pour cela la flamme d'une bougie que l'on tient à une distance convenable des poudres et artifices de transmission de feu.

L'enduit étant mis en place, on le pétrit avec les doigts mouillés pour lui donner la forme convenable.

L'emploi du Bickford est, à notre avis, le meilleur procédé pyrotechnique de mise de feu.

Dans les procédés électriques pour la mise de feu, le mieux, en raison des conditions atmosphériques dans lesquelles on se trouvera l'hiver, est, pour produire le potentiel électrique, de ne pas se servir de piles qui nécessitent un liquide excitateur susceptible de geler lui-même. A cause de ce gros inconvénient, il faut avoir recours de préférence à un appareil magnéto-électrique pour la mise de feu aux amorces. Tel est l'exploseur coup de poing qui fonctionne convenablement par tous les temps et qui est d'un poids peu élevé.

Cet exploseur, construit par Breguet, est constitué par un aimant en U formé de plusieurs lames d'acier superposées; autour des deux pôles sont fixées des bobines, enroulées de telle sorte que leurs effets s'ajoutent, et reliées au circuit qui contient les amorces. Une armature de fer doux, appliquée sur les pôles, peut tourner autour d'une charnière parallèle à la ligne des pôles; elle est commandée par un levier coudé terminé par un bouton qu'on frappe fortement avec le poing; l'armature s'écarte brusquement, produisant dans les bobines un courant induit; mais un ressort, porté par le levier coudé, vient toucher une vis de butée et maintient les bobines en court-circuit pendant la première partie de la rotation; c'est seulement à la fin, lorsque l'extracourant s'ajoute au courant induit, que le ressort abandonne la vis, lançant le courant total dans le circuit des amorces. Le réglage de la vis de butée a donc une importance assez grande; il faut qu'il soit fait de telle façon que le ressort ne quitte la vis de butée qu'après que l'armature a abandonné elle-même le contact de l'aimant, mais aussitôt après ce moment. Un verrou, dit de sûreté, qu'on ne doit ouvrir qu'à la seconde même où l'on a à provoquer l'explosion des amorces, immobilise l'armature pour empêcher les accidents.

Deux bornes sont placées à la partie postérieure de l'appareil; c'est entre ces deux bornes que ces amorces doivent être disposées en tension, c'est-à-dire que le fil partant de la première borne doit aboutir à l'un des fils de la première amorce; l'autre fil de cette amorce est relié à l'un de ceux de la deuxième amorce; le deuxième fil de celle-ci à la troisième et ainsi de suite jusqu'à la dernière, dont le deuxième fil doit être relié à la deuxième borne de l'exploseur pour les fourneaux compassés que nous définirons plus loin. Si l'on ne veut faire exploser qu'une charge, le premier fil de la première borne aboutit à un des fils de l'amorce, dont l'autre fil est joint au fil deuxième venant se fixer à la deuxième borne de l'exploseur. Nous avons dit antérieurement que les amorces doivent être placées vers le centre de la charge de poudre, ou enfoncées dans le milieu de la cartouche de l'explosif dont elles sont appelées à provoquer la déflagration.

Le courant d'induction produit étant un courant de haute tension, la distance entre les amorces par conséquent entre les fourneaux ou les cartouches et l'exploseur n'a plus d'importance et peut être considérable sans inconvé-

nient. L'exploseur du petit modèle, pesant 2^{kg}, 750, peut enflammer deux amorces; le modèle moyen, pesant 8^{kg}, 500, enflamme huit amorces; le grand modèle, du poids de 10^{kg}, 500, enflamme douze amorces. Le modèle moyen nous semble le plus pratique.

Il faut toutefois bien soigner les ligatures des câbles conducteurs avec les amorces, pour bien assurer les contacts; il sera bon d'aviver, en les grattant avec un couteau, les bouts dénudés des fils destinés à être reliés ensemble; les ligatures doivent être ensuite recouvertes de feuilles isolatrices en gutta-percha, en baudruche ou en papier, pour éviter leur contact avec le sol ou la glace.

Il faut avoir soin de tirer le moins possible sur les fils des amorces, sous peine de les arracher ou de détériorer l'amorce. Nous avons indiqué précédemment que les amorces de fulminate doivent toujours être tenues à l'abri de l'humidité (1).

En ce qui a trait à la grosseur des fils conducteurs, on se trouvera bien d'employer les dimensions suivantes :

Le fil en cuivre rouge destiné à relier les amorces entre elles aura cinq dixièmes de millimètre et sera recouvert de substance isolatrice (gutta) de deux millimètres. Les fils en cuivre rouge destinés aux conducteurs maîtres auront sept à neuf dixièmes de millimètre et seront, en outre de leur enveloppe isolatrice en gutta, recouverts d'un guipage en coton. Il est plus commode de se servir de conducteurs doubles, c'est-à-dire placés côte à côte, isolés, et réunis par un guipage de coton.

Les amorces électriques sont confectionnées comme les amorces ordinaires en fulminate, mais avec l'adjonction d'une certaine quantité de fulmi-coton dans lequel est noyée la spirale de platine destinée à rougir au moment du passage du courant.

En ce qui concerne le calcul des charges, il convient de rappeler ici la règle des mineurs :

Pour obtenir en kilogrammes la charge d'un fourneau ordinaire dont la ligne de moindre résistance H est donnée en mètres, faire le cube de cette longueur et multiplier le résultat ainsi obtenu par un coefficient G qui dépend de la nature du terrain.

Cette règle se traduit par l'expression

$$c = gh^3.$$

On comprend que, pour la glace, il y ait beaucoup d'incertitude dans le choix du coefficient d'un milieu aussi variable. Dans une très remarquable étude militaire du cassage des glaces (2), M. le capitaine du génie Bertrand

(1) Avec l'exploseur on peut employer des amorces électriques Abel.

(2) *Revue du Génie* de septembre-octobre 1891.

dit que si l'on opère par fourneaux ordinaires dans une banquise de manière à former une ligne d'entonnoirs jointifs, on peut essayer la formule $c = gh^3$, où, c étant exprimé en kilogrammes et H en mètres, g est égal à 1 pour la poudre et 0,5 pour la dynamite, et il ajoute que cette formule suppose que le bourrage est exécuté dans de bonnes conditions.

Nous croyons que, pendant les fortes gelées et avec l'emploi de la poudre, on peut assimiler la glace à la mauvaise maçonnerie et, dans ce cas, $g = 3$, ce qui, pour un fourneau placé à 1^m,50 de profondeur dans une banquise de consistance égale à une maçonnerie de qualité inférieure, donnerait une charge de 10^k, 10 de poudre par fourneau, et à un mètre de profondeur, 3^k.

Pour les explosifs Favier, on calculera les charges en se basant sur les proportions suivantes :

1° Pour 1 en poids de dynamite n° 1, prendre 1 en poids d'explosif Favier n° 1;

2° Pour 1 en poids de poudre comprimée n° 1, prendre $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{2}$ d'explosif Favier n° 1;

3° Pour 1 en poids de poudre en grains n° 1, prendre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ d'explosif Favier n° 1.

Il faut, en bourrant, éviter d'écraser les cartouches, ce qui en augmenterait la densité.

Les chiffres ci-après, indiquant la sensibilité des explosifs Favier à l'action du fulminate de mercure en raison de leur densité, montrent combien il est important de ne pas augmenter la densité de l'explosif dans le fourneau.

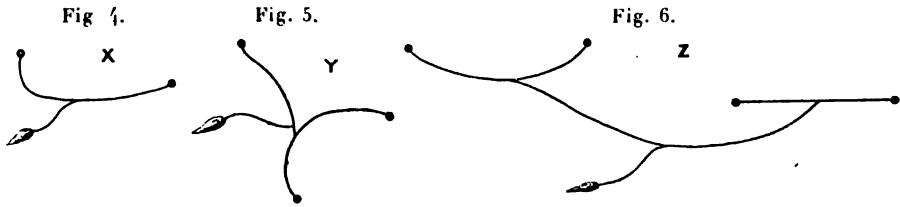
A une densité de

1	l'explosif exige une capsule de	0 ^{sr} ,75 de fulminate
1,10	»	1,25 »
1,20	»	1,50 »
1,25	»	2,00 »
1,30	»	3,00 »
1,40	»	3,50 »
1,45	»	4,00 »
1,50	»	5,00 »

On voit que si, par une compression mal comprise, on donne à l'explosif à une densité de 1 une densité de 1,50, au lieu d'une capsule de 0^{sr},75 de fulminate, il en faudra une de 5^{sr}!

Pour donner le feu au même instant à plusieurs charges ou fourneaux, il faut compasser les feux, c'est-à-dire s'organiser de manière que, du point de départ de mise de feu jusqu'aux charges ou fourneaux, le développement du cordeau Bickford soit le même, de façon que les charges explosent simultanément. On pourra se servir des dispositifs suivants (*fig. X, Y, Z*), en évitant les angles droits et les coudes trop accentués qui seraient des causes retardatrices dans la progression régulière de la combustion du Bickford,

dont on n'oubliera pas qu'elle est de 1^m en 90 secondes. Dans les raccords on veillera avec le plus grand soin à ce que les parties de Bickford en contact

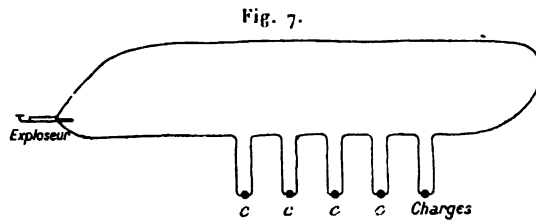


soient parfaitement réunies, ligaturées et recouvertes, de manière à éviter toute solution de continuité de la fusée porte-feu.

Pour les explosions simultanées par l'électricité, deux procédés peuvent être utilisés :

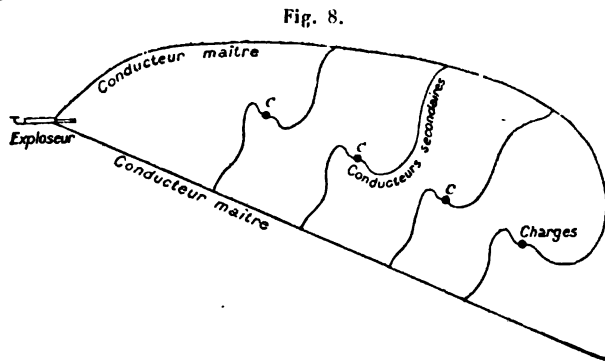
1^o La méthode du circuit unique, où les amorces sont placées dans le même circuit, et le même courant les traverse toutes. C'est le moyen qui sera le plus usité dans les travaux de déglacage.

Exemple :



2^o La méthode des circuits dérivés, où chaque amorce est placée dans un circuit particulier, formé par les conducteurs secondaires qui y aboutissent et que l'on relie aux deux conducteurs maîtres en formant ainsi une succession de dérivés.

Exemple :



SUR LA
PUissance GIRATOIRE COMPARÉE DES GOUVERNAILS

PLACÉS EN AVANT ET EN ARRIÈRE DES HÉLICES,

PAR M. J.-A. NORMAND.

Dans une Note lue à la session de l'Association de 1890, j'ai émis l'opinion que le gouvernail placé en avant des hélices devait avoir une puissance giratoire au moins égale à celle qu'il aurait en arrière, à la condition que dans le premier cas il fût situé à une distance suffisante pour que l'eau inclinée par le gouvernail pût reprendre sa direction normale avant d'arriver aux propulseurs.

Le gouvernail a été mis en avant sur le *Lancier*, tandis qu'il est en arrière sur le torpilleur identique *Dragon*. Les essais comparatifs de ces deux petits bâtiments ont pleinement confirmé les prévisions.

Du Tableau annexé, il résulte que les durées des girations du premier sont inférieures de 10 pour 100 au moins à celles observées sur le second. Il est probable que cette supériorité est due en partie à l'immersion plus grande du gouvernail du *Lancier* (2^m,07 au lieu de 1^m,60); aussi serait-il prudent de ne pas la prévoir dans le cas où les gouvernails seraient également immergés.

Pendant les essais en escadre, la stabilité de route du *Lancier* n'a pas paru inférieure à celle des torpilleurs similaires.

DURÉE DES GIRATIONS DES TORPILLEURS DE HAUTE MER « DRAGON » ET « LANCIER »

Toutes les expériences sont effectuées avec l'angle de barre maximum : 27° à 28°, le même pour les deux torpilleurs.
Elles sont classées dans l'ordre des nombres de tours moyens des machines.

LANCIER.

Le gouvernail R du Lancier, d'une surface totale de 2^m 03 est situé en face A' moyenne du moyeu des hélices.

(Expériences en rade du Harve, du 15 mars 1893.)

GIRATIONS sur	NOMBRE DE TOURS par minute.		DURÉE des girations	
	MACHINE.	MOYEN.	en minutes et secondes.	en minutes et secondes.
	Tribord.	Bâbord.		
Bâbord.	136	114	m. s.	m.
Bâbord.	130	120,5	3,32	3,75
				3,53
Tribord.	120	127	3,38	3,47
"	"	"	"	"
"	"	"	"	"
Tribord.	200	211	2,30	2,65
Bâbord.	228	205	2,51	2,85
Bâbord.	228	207	2,52	2,87
Tribord.	219	224	2,43	2,72
Bâbord.	231	229	2,38	2,63
Tribord.	243	242	3,5	3,68
Tribord.	252	251	3,5	3,68

Girations avec le gouvernail R seul.

GIRATIONS sur	NOMBRE DE TOURS par minute.		DURÉE des girations	
	MACHINE.	MOYEN.	en minutes et secondes.	en minutes et secondes.
	Tribord.	Bâbord.		
Bâbord.	136	114	m. s.	m.
Bâbord.	130	120,5	3,32	3,75
				3,53
Tribord.	120	127	3,38	3,47
"	"	"	"	"
"	"	"	"	"
Tribord.	200	211	2,30	2,65
Bâbord.	228	205	2,51	2,85
Bâbord.	228	207	2,52	2,87
Tribord.	219	224	2,43	2,72
Bâbord.	231	229	2,38	2,63
Tribord.	243	242	3,5	3,68
Tribord.	252	251	3,5	3,68

Girations avec les gouvernails R et A.

GIRATIONS sur	NOMBRE DE TOURS par minute.		DURÉE des girations	
	MACHINE.	MOYEN.	en minutes et secondes.	en minutes et secondes.
	Tribord.	Bâbord.		
Bâbord.	136	114	m. s.	m.
Bâbord.	130	120,5	3,32	3,75
				3,53
Tribord.	120	127	3,38	3,47
"	"	"	"	"
"	"	"	"	"
Tribord.	200	211	2,30	2,65
Bâbord.	228	205	2,51	2,85
Bâbord.	228	207	2,52	2,87
Tribord.	219	224	2,43	2,72
Bâbord.	231	229	2,38	2,63
Tribord.	243	242	3,5	3,68
Tribord.	252	251	3,5	3,68

DRAGON.

Le gouvernail R du Dragon, d'une surface totale de 2^m 14 est situé en face des hélices.

(Résultats des essais officiels communiqués par M. l'ingénieur Guyot.)

GIRATIONS sur	NOMBRE DE TOURS par minute.		DURÉE des girations.	
	MACHINE.	MOYEN.	en minutes et secondes.	en minutes et secondes.
	Tribord.	Bâbord.		
Bâbord.	136	114	m. s.	m.
Bâbord.	130	120,5	3,32	3,75
				3,53
Tribord.	120	127	3,38	3,47
"	"	"	"	"
"	"	"	"	"
Tribord.	200	211	2,30	2,65
Bâbord.	228	205	2,51	2,85
Bâbord.	228	207	2,52	2,87
Tribord.	219	224	2,43	2,72
Bâbord.	231	229	2,38	2,63
Tribord.	243	242	3,5	3,68
Tribord.	252	251	3,5	3,68

Girations avec le gouvernail R seul.

GIRATIONS sur	NOMBRE DE TOURS par minute.		DURÉE des girations	
	MACHINE.	MOYEN.	en minutes et secondes.	en minutes et secondes.
	Tribord.	Bâbord.		
Bâbord.	136	114	m. s.	m.
Bâbord.	130	120,5	3,32	3,75
				3,53
Tribord.	120	127	3,38	3,47
"	"	"	"	"
"	"	"	"	"
Tribord.	200	211	2,30	2,65
Bâbord.	228	205	2,51	2,85
Bâbord.	228	207	2,52	2,87
Tribord.	219	224	2,43	2,72
Bâbord.	231	229	2,38	2,63
Tribord.	243	242	3,5	3,68
Tribord.	252	251	3,5	3,68

Girations avec les gouvernails R et A.

GIRATIONS sur	NOMBRE DE TOURS par minute.		DURÉE des girations	
	MACHINE.	MOYEN.	en minutes et secondes.	en minutes et secondes.
	Tribord.	Bâbord.		
Bâbord.	136	114	m. s.	m.
Bâbord.	130	120,5	3,32	3,75
				3,53
Tribord.	120	127	3,38	3,47
"	"	"	"	"
"	"	"	"	"
Tribord.	200	211	2,30	2,65
Bâbord.	228	205	2,51	2,85
Bâbord.	228	207	2,52	2,87
Tribord.	219	224	2,43	2,72
Bâbord.	231	229	2,38	2,63
Tribord.	243	242	3,5	3,68
Tribord.	252	251	3,5	3,68

La vitesse de la machine tribord du Lancier, qui aurait dû être plus faible que celle de bâbord, étant à l'intérieur du cercle, est plus grande et augmente la durée de la giration.

La vitesse de la machine tribord du Lancier, qui aurait dû être plus faible que celle de bâbord, étant à l'intérieur du cercle, est plus grande et augmente la durée de la giration.

La vitesse de la machine tribord du Dragon est exagérée relativement à celle de bâbord et diminue la durée de la giration.

OBSERVATIONS.

Discussion des Mémoires de M. Normand.

1° Au sujet des gouvernails.

En terminant sa lecture, M. Normand insiste sur la différence notable ($0^m,47$) entre les immersions des deux gouvernails, et sur l'incertitude qui en résulte au point de vue des résultats à attendre dans le cas de deux gouvernails également immergés.

M. DE MAUPEOU ayant fait observer qu'au moment de la mise en route, ou pendant les manœuvres sans vitesse, le gouvernail placé sur l'avant de l'hélice doit être moins efficace que s'il était placé sur l'arrière, M. Normand dit qu'en effet les navires pourvus de cette installation se trouvent alors dans le même cas qu'un bateau à roues.

2° Au sujet de l'influence de l'immersion.

M. DE MAUPEOU rappelle que les résultats obtenus sur l'*Iris* avec diverses hélices n'ont jamais été bien expliqués, et se demande s'il ne faudrait pas y voir jusqu'à un certain point l'influence d'une immersion différente des hélices. M. Normand ne le pense pas; les meilleures hélices au point de vue de l'utilisation ont été les hélices à deux ailes et à grand diamètre; mais on a dû les changer à cause des trépidations qu'elles produisaient.

M. DRZEWIECKI demande comment on peut mesurer ou évaluer le diamètre du cylindre d'eau actionné par l'hélice. La masse d'eau, directement attaquée, entraîne avec elle une autre masse liquide concentrique, dont l'importance est indéterminée. M. Normand répond qu'en effet la masse d'eau actionnée n'est pas rigoureusement limitée au cylindre circonscrit à l'hélice, mais que l'hypothèse sur laquelle il a basé ses calculs permet d'établir une formule commode pour la comparaison des résultats. C'est dans le même but qu'il a supposé le navire immobile; en le considérant en mouvement, il faudrait faire intervenir trois vitesses: celle du navire, celle de l'eau appelée par l'hélice, et celle de l'eau refoulée en arrière. En supposant le navire immobile, on ne change rien aux vitesses relatives des éléments considérés, mais on réduit à deux les mouvements à étudier.

M. DORÈRE fait également remarquer que la formule ne tient pas compte du recul. M. Normand répond qu'il n'a cherché à avoir qu'une très grossière approximation.

NOTE

SUR

L'INFLUENCE DE L'IMMERSION DE L'HÉLICE ET DE LA VITESSE

SUR

LA RUPTURE DU CYLINDRE D'EAU ACTIONNÉ,

PAR M. J.-A. NORMAND.

Lorsqu'une surface se meut obliquement dans l'eau, l'eau tend à remplir le vide formé derrière cette surface avec une vitesse proportionnelle à la racine carrée de sa hauteur en dessous du niveau.

Au niveau même, le vide se produit dès les plus faibles vitesses : à 1^m au-dessous, il se produit dès que la vitesse nécessaire pour remplir le vide atteint 4^m,40, tandis qu'à 6^m au-dessous il y a rupture de la colonne quand la vitesse de l'eau de remplacement dépasse 10^m,80.

Cette loi très simple est facile à constater en fait, sinon en chiffres, sur les gouvernails des torpilleurs. Même avec un angle de barre faible, 20° par exemple, le vide du côté opposé au choc se produit à la surface de l'eau dès la plus faible vitesse; il augmente en profondeur à mesure que la vitesse devient plus grande, et enfin, aux vitesses extrêmes, il atteint la hauteur totale du gouvernail, soit 1^m,60 sur le *Dragon* par exemple. C'est un spectacle qui étonne toujours lorsqu'il est observé pour la première fois, que celui de ce vide en forme de coin dont l'arête se trouve à la partie inférieure du gouvernail et qui s'élève en augmentant graduellement d'épaisseur jusqu'à la flottaison.

Chaque élément superficiel de l'hélice agit de la même manière que le gouvernail. Il se meut obliquement dans l'eau à des profondeurs variables et l'on conçoit que le remplacement de l'eau derrière l'aile cesse de se produire quand la pression statique de l'eau devient inférieure à un chiffre déterminé.

Quelle que soit l'idée qu'on entretienne sur l'action de l'hélice, il est évident que cette action sera d'autant plus efficace que la colonne liquide sur laquelle elle agit, et dont le refoulement suivant l'axe produit la propulsion, sera

continue. Non seulement le vide formé derrière les ailes diminue la masse d'eau actionnée de toute celle qui se détache des ailes, mais encore et surtout ce vide ne peut être rempli que par des tourbillons, cause certaine de perte de force vive.

J'ai fait sur le torpilleur de première classe n° 153 (*Pl. VI*) quelques essais au point fixe qui confirment les hypothèses exposées plus haut. L'arrière était soulevé par une machine à mâter de manière à faire varier l'immersion de l'axe. Cette immersion a été successivement : 1^m,48, 1^m,37, 1^m,26 et 1^m,18.

Les éléments de l'hélice à trois branches sont :

Diamètre.....	2 ^m ,03
Pas moyen.....	2 ^m ,37

La hauteur du niveau de l'eau au-dessus du cercle circonscrit à l'hélice était donc : 0^m,465, 0^m,355, 0^m,245 et 0^m,165 respectivement.

Les courbes ci-jointes dont les ordonnées représentent les carrés des nombres de tours par secondes et les abscisses, les efforts de traction en kilogrammes, donnent les résultats des expériences (*Pl. VII*).

On constate d'abord que l'influence de l'immersion est peu importante aux faibles allures, mais considérable aux allures extrêmes. Ainsi à l'immersion minima de 1^m,18, la traction n'a pas pu dépasser 4500^{kg} avec 23½ tours par minute, tandis qu'à l'immersion maxima de 1^m,48 elle atteint 7000^{kg} avec l'allure bien inférieure de 19½ tours.

On voit encore que, si pour l'immersion maxima l'effort de traction a pu s'élever jusqu'à 7000^{kg} sans que la courbe cessât d'être continue, pour l'immersion minima, le nombre de tours augmente brusquement et l'effort de traction reste sensiblement stationnaire dans les environs de 3000^{kg}.

Au moment où cet effet se produisait, le nombre de tours devenait très irrégulier, toutes choses égales d'ailleurs. Le nombre de tours augmentant, les irrégularités diminuaient, et le régime redevenait à peu près normal, mais avec un nombre de tours exagéré.

Il est probable qu'au début de la rupture de la colonne les vides partiels amenaient une accélération brusque, puis un ralentissement également brusque lorsque ces vides étaient comblés, tandis qu'à plus grande allure des vides à peu près permanents existaient dans la colonne.

Quand le nombre de tours est faible, il ne semble pas que l'effort de traction augmente avec l'immersion. Ce résultat peut provenir de ce que la traction était diminuée de l'aspiration produite par le courant liquide sur la coque, et que celle-ci était augmentée par l'immersion. A l'immersion maxima, la partie inférieure du tableau se trouvait à 0^m,20 environ en dessous du niveau.

Il est intéressant de rechercher si les chiffres absolus des essais concordent avec ceux de la théorie.

Que le navire soit libre ou qu'il soit amarré, le travail de propulsion est

égal à la moitié de l'augmentation de force vive imprimée au cylindre liquide, la vitesse du cylindre, avant et après impulsion, étant mesurée par rapport au navire supposé immobile. Ce mode de calcul approximatif suppose que l'impulsion est donnée sans chocs, que toute la vitesse est imprimée suivant l'axe, et enfin que le diamètre du cylindre d'eau actionné est égal à celui de l'hélice.

Soient :

D le diamètre de l'hélice en mètres;

P le pas moyen de l'hélice en mètres;

n le nombre de tours par seconde;

T la traction au dynamomètre en kilogrammes.

Tant que le cylindre n'est pas brisé, sa masse actionnée par seconde est en eau de mer

$$\frac{1026 \frac{\pi}{4} D^2 P n}{g}$$

et la vitesse qui lui est imprimée

$$nP.$$

La puissance en kilogrammètres est donc

$$\frac{1}{2} \frac{1026 \frac{\pi}{4} D^2 P^2 n^3}{g} = 41,1 D^2 P^2 n^2.$$

Ce travail est égal au produit de la poussée, qui est sensiblement égale à la traction T, par le chemin parcouru nP. On a donc

$$41,1 D^2 P^2 n^2 = T n P.$$

d'où

$$T = 41,1 D^2 P^2 n^2.$$

Si l'on compare cette formule aux résultats de l'essai à immersion maxima, le seul où la colonne liquide actionnée reste continue, on trouve :

$$\text{Pour } n^2 = 10, \quad T = 6800^{\text{kg}}$$

$$6800^{\text{kg}} = 29,3 \times 2^{\text{m},03^2} \times 2^{\text{m},37^2} \times 10;$$

$$\text{Pour } n^2 = 6, \quad T = 4200^{\text{kg}}$$

$$4200^{\text{kg}} = 30,2 \times 2^{\text{m},03^2} \times 2^{\text{m},37^2} \times 6.$$

La formule applicable à cette expérience serait donc environ

$$T = 30 D^2 P^2 n^2.$$

Les résultats des expériences sont immédiatement applicables au cas d'un remorqueur agissant sur une masse considérable animée d'une très faible vi-

tesse. On voit que si le 153 était employé à cet effet, les tractions maxima qu'il pourrait produire utilement seraient :

$$\begin{array}{ll} \text{A l'immersion de } 1^m, 18 & \dots\dots\dots 2800^{\text{kg}} \\ \text{» } 1^m, 48 & \dots\dots\dots > 7000^{\text{kg}} \end{array}$$

Ces efforts limites seraient augmentés avec la vitesse du remorqueur et *a fortiori* pour le torpilleur marchant en route libre, parce que la masse d'eau du cylindre actionné est alors beaucoup plus grande. Mais alors l'hélice décrit dans ce cylindre un pas si rapide qu'une fraction seulement de la masse liquide reçoit l'impulsion entière : au point fixe, il n'en est pas ainsi.

Si cette différence essentielle n'existait pas, il serait possible de se former, d'après les essais au point fixe, une idée approchée de la vitesse à laquelle la colonne d'eau actionnée sera brisée en route libre, et où il se produira une chute brusque de l'utilisation du propulseur. Il suffirait de poser que cet effet a lieu lorsque l'accélération imprimée à l'eau par l'hélice est égale à celle à laquelle correspond la rupture de la colonne au point fixe.

Les calculs exigeraient trop d'hypothèses pour présenter quelque valeur. D'une estimation grossière, il semble résulter toutefois que, pour les torpilleurs du type où l'immersion de l'hélice aux essais est très grande et correspond à la deuxième expérience (immersion de l'axe au repos $1^m, 37$), la vitesse maxima de 24 nœuds pourrait être notablement augmentée par calme avant que la rupture de la colonne se produisît, d'autant plus que l'acculement du bateau en marche accroît alors notablement l'immersion.

Admettons, par exemple, que le recul réel de l'hélice, en tenant compte de la vitesse d'entraînement de l'eau, soit 0,25 de la vitesse de l'hélice, laquelle est égale à

$$\frac{335'}{60} \times 2^m, 37 = 13^m, 25,$$

c'est-à-dire

$$0,25 \times 13^m, 25 = 3^m, 30.$$

D'après la courbe de la deuxième expérience, la rupture se produit pour $n^2 = 8,5$, soit pour une accélération imprimée à l'eau de

$$\sqrt[3]{8,5} \times 2^m, 37 = 6^m, 90.$$

Au contraire, si l'immersion de l'axe était celle de la dernière expérience, $1^m, 18$, la rupture se produirait pour $n^2 = 3$ environ, soit pour une accélération imprimée à l'eau,

$$\sqrt[3]{3} \times 2^m, 37 = 4^m, 10.$$

Il paraît donc probable que, dans les torpilleurs du type 153, la colonne d'eau actionnée reste continue en calme, et même dans une mer assez forte pour diminuer accidentellement l'immersion de $0^m, 40$ environ. Il ne s'ensuit pas que l'immersion soit trop grande. On ne doit pas oublier, en

effet, que l'hélice doit fonctionner encore dans de bonnes conditions par gros temps debout, lorsque la résistance du navire augmente le recul, que la masse d'eau actionnée diminue avec la vitesse, et que les mouvements de tangage réduisent accidentellement l'immersion du propulseur. Dans un grand nombre de cas, la rupture de la colonne se produit alors; la vitesse du navire ne peut plus être maintenue, et la consommation de vapeur augmente sans profit et dans des proportions exagérées.

Les bases d'appréciation manquent absolument pour estimer l'influence du diamètre des hélices sur la rupture. En effet, si d'un côté, pour une immersion d'axe déterminée, l'augmentation de diamètre diminue l'accélération, de l'autre elle réduit la distance du niveau de l'eau au cercle circonscrit. La première est contraire, et la seconde favorable à la rupture.

La rupture de la colonne d'aspiration est un phénomène qui s'observe dans la plupart des pompes; mais plus nettement dans celles à mouvement constant, telles que les pompes centrifuges et les éjecteurs.

Dans les très nombreuses expériences que j'ai effectuées sur les éjecteurs pour en déterminer les meilleures proportions, le phénomène se produisait avec une régularité remarquable et il était possible de fixer à l'avance la vitesse d'aspiration correspondante.

Mais il existe entre les pompes et l'hélice une différence radicale. L'aspiration des premières s'opère dans un tuyau fermé et la rupture a lieu quand la pression est réduite au vide, c'est-à-dire quand la vitesse d'aspiration est égale à celle due à la hauteur de 10^m,30, diminuée de la hauteur d'aspiration et des pertes de charge.

L'hélice travaille généralement, au contraire, dans une eau indéfinie, et c'est alors la hauteur de la flottaison au-dessus du propulseur qui s'oppose à la rupture.

On conçoit donc qu'en formant une fraction de tube au-dessus du propulseur et du canal d'aspiration, on recule la vitesse à laquelle se produira la rupture. En effet, l'atmosphère ne peut pénétrer alors dans la colonne d'aspiration qu'en passant sous les bords inférieurs de la voûte, pourvu toutefois que celle-ci se prolonge suffisamment en arrière et sous l'eau pour que l'air ne puisse s'introduire par l'arrière.

La voûte expérimentée par M. de Bénazé s'arrêtant à 0^m,10 en avant de l'hélice ne remplissait pas les conditions nécessaires, et l'amélioration d'utilisation observée ne provient probablement que d'une réduction des effets centrifuges.

Il n'en était pas de même dans le *Rochambeau* d'abord, puis dans les garde-côtes type *Tonnerre*, construits sur les plans de notre éminent Président, et, plus tard, dans les très remarquables embarcations à faible tirant d'eau auxquelles M. Thornycroft a appliqué ses hélices turbines, car la fraction de tube s'étendait sur tout le canal d'aspiration et se prolongeait en arrière.

On sait que le *Rochambeau* et les garde-côtes, malgré leur faible tirant

d'eau, ont atteint les plus hautes valeurs d'utilisation connues et que le rendement des hélices turbines est bon.

Les essais n'ont pas présenté toute l'exactitude désirable. Une cause d'erreur importante consistait dans la manœuvre des écluses du bassin, qui amenait des variations dans l'immersion de l'hélice.

Toutefois, l'erreur possible sur les chiffres absolus ne saurait infirmer ce résultat important, constaté peut-être pour la première fois, de la rupture de la colonne d'eau actionnée et de la limitation de la poussée, variables, pour une hélice déterminée, avec l'immersion, et, si mes déductions sont exactes, avec la vitesse du navire.



VOIES D'EAU ET POMPES CENTRIFUGES,

PAR M. DE MAUPEOU D'ABLEIGES,

Directeur des Constructions navales.

Le désastre du *Victoria* frappé par l'éperon du *Camperdown*, et peu après la perte du *Fernando* abordé par le *Cécile* ont de nouveau appelé l'attention sur la nécessité de combattre l'effet des voies d'eau, non seulement par le cloisonnement, mais encore par de puissants moyens d'épuisement. Pour le *Fernando* notamment, qui a mis plus d'une demi-heure à couler, les moyens d'épuisement auraient pu lutter avec succès contre l'envahissement de l'eau.

La masse liquide qui pénètre dans un navire par un trou percé dans la carène est très importante, surtout si l'immersion est grande. Le travail nécessaire pour expulser cette eau est proportionnel à la profondeur à laquelle elle a pénétré et correspond à une puissance considérable, comme il est aisé de s'en rendre compte. Soient :

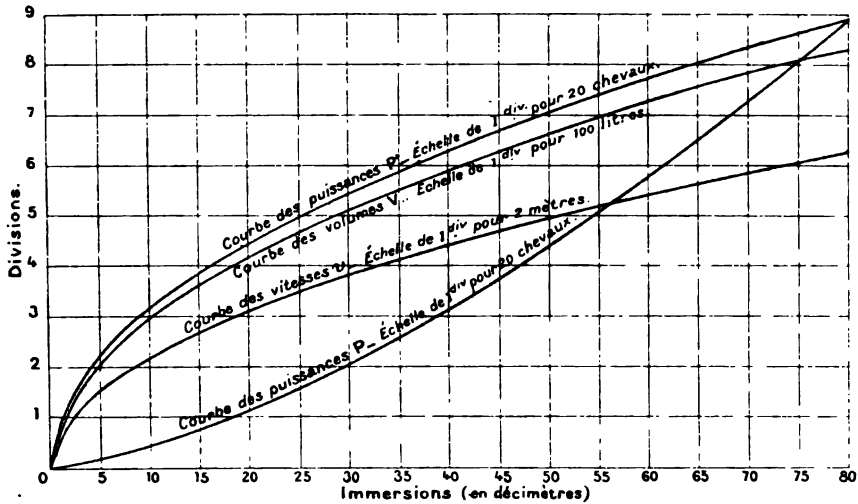
Diamètre du trou formant voie d'eau.....	D = 3,57 décimètres
Section de la voie d'eau.....	S = 10 décimètres carrés
Immersion du centre de la voie d'eau.....	h = décimètres
Vitesse d'écoulement de l'eau à l'entrée.....	v = $\sqrt{20gh}$ décimètres
Volume d'eau introduit par seconde.....	V = $\frac{2}{3}$ S v litres.
Puissance nécessaire pour	$\left\{ \begin{array}{l} \text{de la profondeur de la voie d'eau.} \quad P = \frac{2 \times V \times h}{750} \text{ chevaux} \\ \text{expulser ce volume d'eau} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{de 8\"m de profondeur.....} \quad P' = \frac{2 \times V \times 80}{750} \text{ chevaux} \end{array} \right. \end{array} \right.$

Les résultats du calcul se traduisent par les courbes ci-jointes, pour des immersions comprises entre 0^m et 8^m, et comme nous avons pris une section de 0^mq,10, il est facile de trouver le volume d'eau et la puissance correspondant à une section quelconque.

On voit que par un trou de 0^mq,10 (diamètre 0,357) situé à 2^m de profondeur sous l'eau, il entre à bord 420^{lit} de liquide par seconde ou 25,200^{lit} par minute et 1512^m par heure. Quant à la puissance nécessaire pour expulser cette eau, elle ne serait que de 22 chevaux environ si elle ne descendait pas

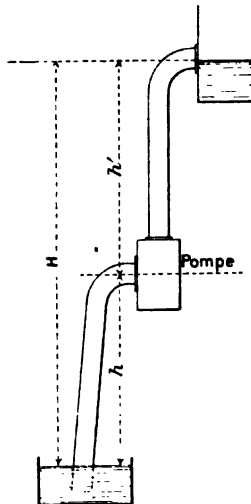
plus bas que 2^m, tandis que si elle tombe à fond de cale (8^m), elle est de plus de 88 chevaux.

Fig. 1.



Il ne saurait être question, pour des épuisements de cette importance, d'employer l'éjecteur ou le pulsomètre; ces appareils, qui se recommandent par leur grande simplicité, dépensent beaucoup trop de vapeur et ne conviennent que dans des cas particuliers.

Fig. 2.



Les pompes à piston sont celles qu'on adopte généralement, bien qu'elles se prêtent moins bien que les pompes centrifuges au maniement des grandes masses d'eau. Ces dernières sont très employées pour les opérations de ren-

flouage et il est permis de se demander si l'on a eu raison de les abandonner pour combattre les voies d'eau à bord des navires de guerre.

Pour être à même de se faire une opinion bien motivée à ce sujet, il est indispensable de comparer les conditions de fonctionnement des deux genres d'appareils.

Quel que soit d'ailleurs le système de la pompe employée pour un épuisement, on la place généralement sur le trajet que l'eau doit suivre dans le sens de la hauteur H , comme le montre le croquis ci-contre, en sorte qu'elle agit à la fois par aspiration et par refoulement $h + h' = H$. Le rapport entre ces deux éléments varie d'ailleurs suivant les circonstances. [Mais comme on a presque toujours intérêt à soustraire les appareils à l'action de l'eau, il arrive généralement que la hauteur d'aspiration h , est assez considérable, tandis que la hauteur de refoulement h' est souvent très faible.

Amorçage. — Lorsqu'on met en route un appareil de pompage sans l'amorcer, le tuyautage étant plein d'air, si la pompe est à piston, elle commence à fonctionner comme pompe à air et, lorsqu'elle est convenablement construite, elle peut s'amorcer d'elle-même. Quant à la pompe centrifuge, elle fonctionne alors comme un ventilateur et, même en s'emballant, elle ne produit qu'une dépression très faible, en sorte qu'on peut la considérer comme incapable de s'amorcer s'il y a une hauteur d'aspiration sensible. Le plus souvent on munit les pompes centrifuges d'un clapet de pied et on les dispose de manière à pouvoir les emplir d'eau ainsi que le tuyautage d'aspiration; on peut encore faire l'amorçage à l'aide d'un éjecteur de vapeur, mais, pour qu'une pompe centrifuge puisse s'amorcer d'elle-même, il convient de supprimer complètement l'aspiration et de ne la faire agir que par refoulement.

Variations d'allure. — Supposons la pompe amorcée; si elle est à piston, elle peut donner un débit à l'allure la plus lente; la hauteur d'élévation est indépendante du nombre de tours, et le débit par tour dépend surtout du volume du corps de pompe. Si l'appareil a un moteur spécial, on peut faire varier l'allure et le débit dans des limites très étendues; la puissance par unité de débit ou par tour varie peu.

Il n'en est pas de même pour la pompe centrifuge, et d'abord il est facile de s'assurer qu'à faible allure le débit est nul. Si l'on augmente progressivement le nombre de tours de l'appareil, on peut constater que l'eau s'élève progressivement dans le tuyautage; l'action de la force centrifuge augmente en effet avec la rapidité du mouvement de rotation et la hauteur de l'eau dans le tuyau de refoulement varie à peu près comme le carré du nombre de tours $h = A n^2$.

Appelons N le nombre de tours correspondant à la différence de niveau H . Tant que $N^2 < \frac{H}{A}$, la pompe est incapable d'élever l'eau à ce niveau. Si même

le tuyau de refoulement, au lieu de former déversoir, aboutissait au-dessous du niveau liquide dans le réservoir supérieur, l'eau s'écoulerait de celui-ci dans le réservoir inférieur. C'est un phénomène analogue au renversement de courant qui se produit dans une dynamo lorsque le nombre de tours n'est pas en rapport avec la différence de potentiel à vaincre.

En continuant à accélérer l'allure, il arrive un moment où $N^2 = \frac{H}{A}$; alors l'eau commence à couler par le déversoir et le débit augmente rapidement avec le nombre de tours; c'est qu'en effet l'eau a une tendance à s'élever plus haut, en sorte que sa vitesse d'écoulement augmente en raison de ce surcroît d'élévation ($V = \sqrt{2gh}$). Quant à la puissance développée, elle croît aussi rapidement et le moteur ne tarde pas à se trouver impuissant, d'autant plus que, lorsque le débit est exagéré par rapport aux sections du tuyautage et des conduits de la pompe, le frottement prend une importance considérable.

On voit, en résumé, qu'au point de vue du débit, les pompes centrifuges n'ont pas l'élasticité des appareils à piston; elles sont très puissantes, mais elles ont pour chaque hauteur d'élévation une allure ($N^2 = \frac{H}{A}$) dont il ne faut pas s'éloigner, pour fonctionner dans de bonnes conditions.

Conditions de fonctionnement. — Les conditions de fonctionnement des deux genres d'appareils peuvent se résumer de la manière suivante en négligeant les frottements et autres phénomènes secondaires. Appelons :

N le nombre de tours ou allure de la pompe;

$N - n$ le nombre de tours pour lequel la pompe centrifuge maintient l'eau en équilibre à la hauteur H sans cependant donner de débit;

$H + h_1$ la hauteur à laquelle la pompe centrifuge élèverait l'eau sans donner de débit en faisant N tours.

POMPE A PISTON.	POMPE CENTRIFUGE.
<i>Hauteur à laquelle le liquide est élevé = H</i>	
Indépendante du nombre de tours N.	Proportionnelle au carré du nombre de tours.
	$H + h_1 = AN^2.$
	$H = A(N - n)^2.$
	$h_1 = 2ANn$ (en négligeant n^2).
<i>Débit de l'appareil = Q.</i>	
Proportionnel au nombre de tours $Q = B' \times N.$	Proportionnel à la racine carrée de h_1 . $Q = B \sqrt{h_1} = B' \sqrt{Nn},$
	$Q = 0$ pour $h_1 = 0$ ou $N < \sqrt{\frac{H}{A}}.$

Puissance nécessaire pour le fonctionnement de l'appareil = P.

Proportionnelle au produit de la hauteur par le débit :	Proportionnelle au produit de la hauteur par le nombre de tours quel que soit le débit : $P = C'(H + h) \times N = DN^3$.
--	--

$$P = C' \times H \times Q = D' \times H \times N.$$

L'utilisation ou rapport du travail utile au travail dépensé.

$$\frac{HQ}{P} = C' \quad \left| \quad \frac{HQ}{P} = E \frac{(N - n)^2 \times \sqrt{Nn}}{N^3} \quad (1).$$

On voit que l'utilisation est constante pour les pompes à piston, en négligeant, bien entendu, les phénomènes secondaires, tandis qu'elle a un maximum pour les pompes centrifuges et ce maximum a lieu pour $n = \frac{N}{5}$ ou $n = \frac{N - n}{4}$, c'est-à-dire lorsque l'allure dépasse de $\frac{1}{4}$ le nombre de tours suffisant pour maintenir l'eau en équilibre au niveau du déversoir. Ce chiffre est d'ailleurs modifié par les frottements.

On voit également que si la hauteur varie avec la pompe à piston, la puissance doit varier proportionnellement à la hauteur, quel que soit le nombre de tours. Pour maintenir un nombre de tours constant, il faut augmenter la pression de vapeur ou l'introduction lorsque la hauteur d'épuisement augmente. Il n'en est pas de même avec les pompes centrifuges; si l'on suppose $P = KN^3$ comme $P = (H + h) N$, il en résulte que $H + h = \frac{P}{N^2}$ est constant; si la hauteur d'épuisement H augmente, h diminue et par suite le débit, mais le nombre de tours N ne varie pas. En réalité, le nombre de tours augmente même souvent avec la hauteur d'épuisement parce que la pompe a un débit trop considérable lorsque la hauteur d'épuisement est faible, ce qui entraîne des frottements exagérés. C'est ce que constate M. Dumont dans ses instructions.

Au commencement d'un épuisement, alors que la fouille est pleine et la hauteur d'élévation faible, la machine ne peut prendre sa vitesse; au fur et à mesure que la hauteur d'élévation augmente, l'allure de la machine devient plus rapide, tout naturellement, et ce n'est que quand la hauteur d'élévation maximum est atteinte qu'elle doit marcher à sa vitesse normale.

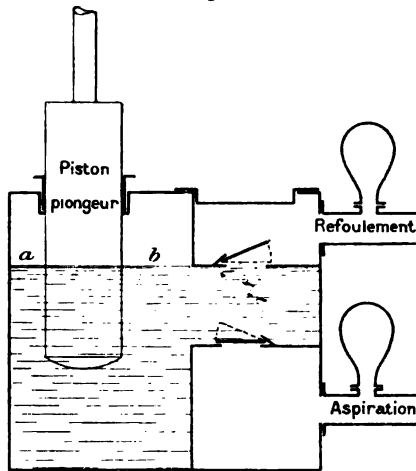
Rentrées d'air. — Les rentrées d'air sont toujours nuisibles au bon fonctionnement des pompes; elles diminuent leur rendement, mais elles ne paralysent généralement pas les pompes à piston bien construites.

Il faut avoir soin que les clapets de refoulement soient situés à la partie supérieure du corps de pompe, sans quoi l'air, s'accumulant dans le volume

(1) Nous n'avons pas la prétention d'établir ici une théorie exacte des pompes centrifuges, et les formules simples que nous indiquons ont seulement pour but de comparer leur mode de fonctionnement avec celui des pompes à piston.

ab situé au-dessus du siège des clapets, se dilate et se comprime à chaque coup de piston et diminue le rendement d'autant plus que la hauteur de refoulement est plus grande. Les réservoirs d'air, utiles sur l'aspiration et sur le refoulement, pour régulariser l'écoulement et éviter les coups de bélier, sont très nuisibles dans le corps de pompe. Un effet du même genre peut se produire dans le tuyautage d'aspiration s'il présente un contre-coude comme ci-

Fig. 3.



dessous. Une rentrée d'air en a donne des bulles qui s'amassent en b , étranglent la section, réduisent le débit et peuvent même le rendre nul. On sait également qu'un siphon se désamorce au bout de peu de temps s'il y a une rentrée d'air, en a par exemple ; il cesse de donner dès que le niveau de l'air est arrivé en b , puis il se vide.

Fig. 4.

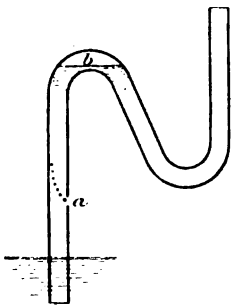
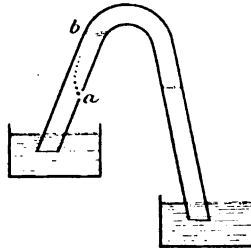


Fig. 5.



Un phénomène du même genre se produit dans les pompes centrifuges en vertu du mouvement de rotation dont elles sont animées. Supposons en effet un tambour monté sur un axe et muni de cloisons rayonnantes; mettons à l'intérieur une certaine quantité d'eau et faisons-le tourner. L'eau, qui est plus dense que l'air, se portera sur la paroi extérieure en vertu de la force

centrifuge, et si celle-ci est supérieure à l'action de la pesanteur, lorsque le système sera en équilibre, l'eau formera dans le tambour un anneau ee' , tandis que l'air restera au centre en aa' . C'est ce qui se produit dans une pompe centrifuge lorsque l'eau aspirée est mélangée d'air; quelques bulles peuvent être entraînées par le courant, mais la plupart de ces bulles se réunissent autour de l'axe de rotation, s'y cantonnent et forment au centre du

Fig 6.

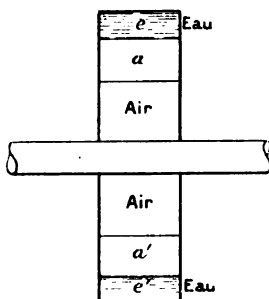
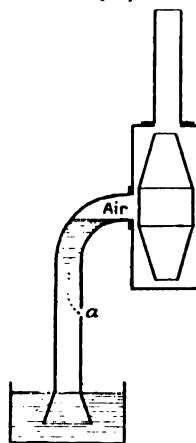


Fig. 7.



disque tournant un noyau d'air qui augmente tant que de nouvelles bulles d'air viennent l'alimenter. Il arrive un moment où le courant d'eau se trouve complètement interrompu par l'accumulation d'air et où le débit cesse; la pompe ne fait alors que contre-balancer le poids de la colonne d'eau du refoulement. C'est un effet analogue à celui que nous avons signalé pour le siphon lorsqu'il y a une rentrée d'air dans la branche aspirante.

Lorsqu'on constate que le débit de la pompe diminue notablement, par suite d'une rentrée d'air venant du clapet de pied, il suffit de la stopper momentanément et de la remettre à son allure ordinaire pour retrouver le débit normal. Le mouvement de rotation cessant, l'air cantonné au centre monte, se dégage par le tuyau de refoulement et est remplacé par l'eau contenue dans ce dernier, en sorte que la pompe se trouve amorcée et prête à fonctionner dans de bonnes conditions, pourvu toutefois que le volume d'eau contenu dans le refoulement soit suffisant.

Pour combattre le mauvais effet des rentrées d'air sur le fonctionnement des appareils centrifuges, on les a quelquefois munis d'une petite pompe disposée pour aspirer au centre du disque tournant et pour enlever l'air qui s'y accumule, mais on se contente généralement d'envoyer dans les presse-étoupes de l'arbre du disque, de l'eau sous pression, prise au refoulement, de façon à supprimer cette cause de rentrée d'air qui est la plus à craindre.

Fonctionnement sûr. — Le meilleur moyen pour assurer aux pompes centrifuges un fonctionnement absolument sûr est de supprimer l'aspiration en

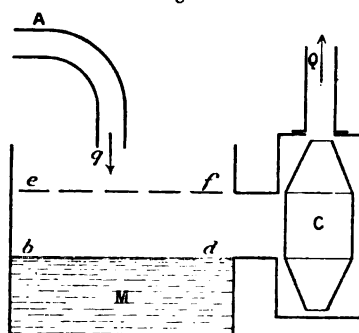
noyant la pompe. Dans ces conditions, l'appareil s'amorce tout seul, et si, par suite de manque d'eau, l'air atteignait le centre de la pompe et la désamorçait, celle-ci se réamorcerait d'elle-même dès que l'eau reviendrait.

Fonctionnement mixte. — On peut se demander ce qui se produirait si l'arrivée d'eau à la pompe était inférieure au débit de l'appareil. Le fonctionnement serait-il continu ou intermittent ?

Pour résoudre cette question, on a disposé une pompe centrifuge dans les conditions figurées sur le croquis ci-contre :

M, réservoir d'eau,
C, pompe centrifuge aspirant dans ce réservoir,
A, tuyau d'arrivée d'eau dans le réservoir,
N, allure normale de la pompe,
Q, débit correspondant,
 q , débit du tuyau d'arrivée d'eau dans le réservoir M.

Fig. 8.



Nous supposons $q < Q$.

Si le réservoir est vide et qu'on fasse tourner la pompe à son allure normale en ouvrant le tuyau A, le niveau montera progressivement; lorsque le liquide arrivera en bd , l'eau se déversera dans la pompe qui commencera à barboter; le niveau continuant à monter, elle s'amorcera d'elle-même lorsque le niveau sera assez élevé, puis celui-ci redescendra.

L'expérience montre que, si Q diffère peu de q , le fonctionnement est intermittent, la pompe s'amorce et se désamorce, et le niveau de la caisse M varie dans des limites assez étendues; ce fait s'explique par la diminution de l'action centrifuge occasionnée par la présence de l'air dans le disque tournant.

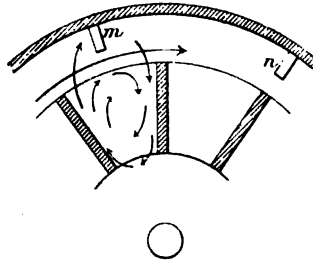
Si, au contraire, Q est beaucoup plus grand que q , alors le fonctionnement est continu, le niveau dans la caisse M varie peu et est assez voisin de bd ; tandis que, dans le cas précédent, la pompe ne refoulait que de l'eau, elle refoule alors un mélange d'air et d'eau dont la densité est en rapport avec l'allure de la pompe et la hauteur d'élévation.

Dans les deux cas, le fonctionnement de la pompe est parfaitement assuré sans qu'on ait besoin de la surveiller et l'épuisement se fait régulièrement, sinon économiquement.

Fonctionnement à blanc. Emballement. — Lorsque, par suite d'une accumulation d'air en contre-haut des clapets de refoulement d'une pompe à piston, elle cesse de débiter, l'air alternativement comprimé et dilaté fait ressort et rend en partie le travail qui lui est transmis ; le moteur, trouvant beaucoup moins de résistance, s'emballe notablement. Si le tuyau de refoulement était fermé, la pompe s'arrêterait si rien ne venait à casser.

Il n'en est pas de même avec la pompe centrifuge. Si l'air cantonné au centre supprime le débit, la pompe s'emballe bien un peu, surtout lorsque la hauteur d'aspiration est considérable, parce que l'air situé au centre de la turbine finit par atteindre la pression atmosphérique ; mais, la puissance va-

Fig. 9.



riant comme le cube du nombre de tours, l'emballement est relativement modéré. Si l'on vient à fermer le tuyau de refoulement, la pompe ne stoppe pas, son nombre de tours varie même très peu, toute la puissance est absorbée dans l'appareil en remous et en frottements. L'eau doit tourbillonner entre les palettes de la turbine, l'aspiration qui a lieu sur leur face arrière produisant un courant centripète, tandis que la force centrifuge détermine sur la face avant un courant de sens inverse.

Cette propriété dont jouissent les pompes centrifuges d'absorber un travail considérable sans que l'eau se renouvelle, peut être utilisée dans certains cas. Ainsi, pour essayer l'emploi du pétrole comme moyen de chauffage sur un torpilleur, on a pu fonctionner à terre en remplaçant l'hélice par un disque de pompe centrifuge tournant dans une caisse pleine d'eau. On absorbait ainsi plusieurs centaines de chevaux sans autre résultat que d'élever progressivement la température du liquide. Aucun frein n'aurait pu absorber une puissance aussi considérable en soutenant une allure régulière. Cette puissance était d'ailleurs mesurée comme d'habitude avec des indicateurs. La présence de cloisons radiales *mn* dans l'espace annulaire qui entoure le disque tournant augmente encore la production des remous en empêchant l'eau de prendre un mouvement régulier de rotation.

Le vide qui tend à se produire sur la face arrière des ailettes des pompes et des ventilateurs centrifuges joue dans le fonctionnement de ces appareils un rôle très important, et dont on n'a pas toujours assez tenu compte dans leur tracé.

Conclusion. — On voit, en résumé, que les pompes centrifuges peuvent avoir un fonctionnement aussi sûr que celui des pompes à piston, à la condition de supprimer l'aspiration et de les noyer; on évite alors les rentrées d'air qui occasionnent le désamorçage de l'appareil et paralysent son fonctionnement.

L'axe de la pompe peut d'ailleurs être horizontal, comme on le met généralement, ou vertical. Cette dernière disposition éloigne le moteur, machine à vapeur ou dynamo, du niveau de l'eau à épuiser et paraît avantageuse dans la plupart des cas.

Ainsi disposée, une pompe centrifuge ferait certainement une excellente pompe d'épuisement à bord des navires de guerre et, comparée à une pompe à piston de même puissance, elle serait beaucoup plus légère, moins encombrante et moins dispendieuse.

A l'arrière des cuirassés, les moyens d'épuisement sont généralement puissants, car on utilise les pompes de circulation des grandes machines. Au centre on a des pompes spéciales à piston pour le service des drains. C'est l'avant qui est le moins bien partagé, et c'est pourtant là que les voies d'eau sont le plus à craindre, aussi bien dans les œuvres vives que dans les œuvres mortes, la vitesse du navire facilitant l'entrée du liquide. C'est là aussi que l'introduction de l'eau a l'effet le plus fâcheux sur l'assiette et la stabilité du navire.

C'est donc à l'avant des chaudières qu'une puissante pompe centrifuge paraît avoir sa place indiquée sur les navires de guerre. On la logerait dans le double fond et l'arbre de commande monterait dans l'entrepont situé au-dessous du pont cuirassé où se trouverait le moteur. Avec les pressions élevées des chaudières actuelles, le moteur à allure rapide serait à la fois puissant, léger et peu encombrant.

L'aspiration de la pompe se ferait dans une sorte d'archipompe dont les faces, munies de clapets en caoutchouc et même de vannes, permettraient d'aspirer dans différents compartiments du navire. Le refoulement de la pompe peut être sous-marin, en le munissant d'un robinet et d'un clapet bien installé.

Après du mécanicien, il est nécessaire d'installer un tachymètre pour qu'il puisse régler l'allure de l'appareil, et un indicateur lui faisant connaître le niveau de l'eau dans l'archipompe et dans les compartiments dans lesquels on peut puiser. Il doit également avoir sous la main la manœuvre des vannes permettant de faire communiquer l'archipompe avec les divers compartiments.

Le croquis ci-contre représente l'installation d'une pompe centrifuge à axe vertical dans le double fond d'un cuirassé (*Pl. VIII*).

Discussion du Mémoire de M. de Maupeou.

M. NORMAND fait remarquer, à l'appui de ce qu'a dit M. de Maupeou, que les pompes centrifuges ont le grand avantage de permettre la suppression des clapets dans les cales où l'eau est chargée d'impuretés, et d'écarter ainsi des chances fréquentes d'avaries.

M. DE MAUPEOU ajoute que, lorsqu'elles sont bien installées, on peut compter sur un débit double de celui d'une pompe à piston, pour le même prix. Si on les a abandonnées, c'est qu'elles étaient installées dans de mauvaises conditions.

ÉTUDE
SUR
L'AUTONOMIE DES PORTS DE COMMERCE
EN FRANCE ET EN ANGLETERRE,
PAR M. CHARLES LE COUR GRANDMAISON,
Ancien Député.

Après bien des retards et des hésitations, la Chambre des députés a voté, au mois de janvier 1893, la prorogation pour dix ans de la loi sur la Marine marchande. L'économie de cette loi est trop connue pour qu'il soit nécessaire d'entrer dans des explications à ce sujet. Il est alloué des primes à la construction et des primes à la navigation.

Les primes à la construction ne sont en réalité que le remboursement des droits de douane sur les matières premières entrant dans la construction des bâtiments de mer; mais la nouvelle rédaction majore un peu le taux établi par la loi de 1881, de manière à laisser une certaine prime au constructeur. La prime à la navigation se calcule d'après le tonneau de jauge et la distance parcourue.

Des modifications assez importantes ont été apportées par le Parlement dans cette partie de la loi.

D'abord, après une lutte acharnée, on a supprimé la demi-prime que la loi de 1881 accordait aux navires construits à l'étranger et décidé que les navires de construction française bénéficieraient seuls de la loi.

Puis il a été admis que la prime à la navigation serait établie d'après la jauge brute, au lieu d'être calculée, comme par le passé, sur la jauge nette, ce qui a obligé d'adopter une base différente pour les navires à vapeur et les voiliers; et, par une mesure très favorable aux constructeurs français, il a été décidé que, quelle que fût l'époque de la construction, tout navire sortant des chantiers français aurait droit à dix années de prime; enfin le cabotage, sacrifié en 1881, a été admis au bénéfice de la loi.

Cette loi donne satisfaction aux réclamations formulées depuis longtemps par l'industrie française, et elle a été en général accueillie très favorablement par les armateurs.

Cependant nous avons le regret de constater que, jusqu'à présent, elle n'a pas donné lieu à un mouvement d'affaires considérable et que les résultats, tant au point de vue de l'armement que de la construction, ont été assez médiocres.

Il nous semble pourtant qu'il ne faudrait pas trop se hâter de conclure à l'inefficacité du système et qu'il y a lieu d'étudier les causes multiples qui concourent en ce moment à empêcher le développement de la Marine marchande française.

En premier lieu, il faut placer la crise économique. Les frets sont tombés depuis quelques années à des cours sans précédents et qui cessent d'être rémunérateurs. Cela tient à l'exagération des constructions anglaises et à la surabondance du tonnage disponible. Dans ces conditions, les Sociétés d'armement déjà anciennes, qui disposent d'un matériel en partie amorti continuent péniblement à vivre, mais les Sociétés nouvelles qui voudraient créer une flotte n'entrevoient pas la possibilité de bénéfices.

Cette situation est transitoire ; des tableaux dressés au moment de la discussion de la loi de la Marine marchande par le Président du Syndicat nantais montrent qu'il existe encore en Europe un nombre considérable de vieux navires en bois, de types démodés et d'un âge avancé. Ce vieux matériel, sans valeur, est aux mains de certaines nations maritimes qui naviguent avec une économie extraordinaire ; il pèse lourdement sur le marché général parce qu'il cherche à s'utiliser à tout prix, mais sa disparition n'est plus qu'une question de quelques années. De plus on signale déjà un arrêt considérable dans la production des chantiers anglais ; la diminution pour 1893 est de plus de 25 pour 100. L'équilibre détruit ne tardera pas à se rétablir.

La France a souffert plus que tout autre de cette crise qui a coïncidé avec l'établissement du nouveau tarif des douanes et avec l'adoption, par les chemins de fer français, du système de tarification belge à base kilométrique décroissante.

Les frets ont manqué tant à la sortie qu'à l'entrée, et le cabotage a été écrasé par la concurrence. D'autre part, l'outillage encore insuffisant de nos grands ports et l'absence d'un réseau de navigation intérieure permettant des transports à prix réduits n'ont pas permis aux grands ports comme le Havre, Nantes, Saint-Nazaire et Marseille de prendre dans le transit de l'Europe centrale la part qui devrait leur revenir d'après leur position géographique.

C'est là un élément d'infériorité qu'on ne saurait méconnaître, mais qu'il ne faut pas exagérer, car le mouvement maritime de la France n'a pas diminué, et les navires étrangers trouvent encore chez nous un élément important d'activité et de prospérité. Ce qui est surtout déplorable, c'est de voir que le

pavillon français couvre à peine un tiers du mouvement maritime de nos ports, et il importe de rechercher la raison de cet état de choses.

Nous croyons qu'il tient à l'organisation des travaux publics en France et au traitement que subissent nos navires dans les ports étrangers.

Nous avons toujours pensé que la loi sur la Marine marchande et les primes accordées n'étaient qu'un palliatif et qu'on ne pouvait espérer voir la Marine française reflourir tant qu'on n'aurait pas mis les armateurs français dans la possibilité de lutter à armes égales contre leurs concurrents étrangers.

Aux termes des traités de navigation et après la suppression des surtaxes de pavillon, les navires français doivent être traités, dans les ports étrangers, comme les navires appartenant à la nation contractante : on ne peut percevoir sur eux aucun droit qui ne serait pas également perçu sur les navires nationaux. Telle est la thèse.

Nous parlons, bien entendu, des pays qui ont avec la France des traités de navigation ; nous ne parlons pas de l'Espagne et de l'Italie qui perçoivent une surtaxe de pavillon de 2^{fr} par tonneau sur les navires français. Nous nous occuperons surtout de l'Angleterre qui a garanti à notre pavillon la réciprocité la plus complète, *tandis qu'en fait nous avons la preuve certaine que les navires français ne jouissent pas, dans les ports anglais, du même traitement que les navires anglais.*

Ceci a été longtemps contesté, mais après les travaux de MM. Plocq et Laroche, ceux de MM. Pastoureau, Labesse et Baysselance, de Bordeaux, et surtout après l'enquête faite avec tant d'intelligence, en 1887, par MM. Colson et Roume ⁽¹⁾, il est facile de se rendre compte du malentendu qui s'est produit et dont nous avons tant souffert.

Rien de plus simple que le régime des travaux publics en France ; l'État est le grand constructeur et l'entrepreneur universel ; il exécute tous les travaux avec l'argent provenant du budget ; chaque contribuable en paye indistinctement sa part et, par contre, jouit gratuitement de tous les travaux exécutés par l'État, routes, ponts, canaux, ports, etc.

C'est un système qui peut se défendre et qui est entré dans nos mœurs, mais il a l'inconvénient de ne pas faire participer les étrangers aux charges énormes résultant de nos travaux publics.

Quand un négociant ou un cultivateur français se sert d'une route, d'un quai, d'un bassin, il sait que l'abonnement lui sera réclamé par le perceuteur. L'étranger, au contraire, jouit de la gratuité absolue et use, sans compensation, de tous les avantages que se sont chèrement procurés les contribuables français. Dans ces conditions, il a été possible de chiffrer la subvention indirecte payée aux producteurs étrangers : elle s'élève à près de 400 millions

(1) *L'organisation financière des ports maritimes de commerce en Angleterre*, par MM. COLSON et ROUME (*Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1888), édité par V. Ch. Dunod, 1888.

par an; une partie seulement rentre dans le Trésor, sous forme de droits de douane.

Tout autre est le système adopté dans les autres pays, et notamment en Angleterre.

Il n'existe pas en Angleterre de Ministère des Travaux publics, et les grands travaux sont exécutés par des corporations ou des compagnies privées, qui rentrent dans leurs déboursés au moyen de taxes ou de péages et dont M. de Franqueville a décrit l'organisation après sa mission de 1874.

Ces compagnies ou corporations ont dépensé 3 milliards pour la création et l'outillage des ports anglais, et les contribuables anglais n'ont pas eu à supporter un penny de charges provenant des travaux des ports. Tous ces travaux ont été exécutés et amortis au moyen de ressources spéciales, prises dans les ports; au moyen de véritables droits de douane portant à la fois sur les navires et sur les marchandises; ces ressources ont été évaluées par MM. Plocq et Laroche, à 180 millions par an; MM. Colson et Roume se sont ralliés à ce chiffre, mais, suivant l'opinion de la Chambre de Commerce de Bordeaux et mes propres appréciations, elles atteignent au moins 200 millions, car il faut y comprendre certains frais que l'on considère en France comme faisant partie de l'outillage proprement dit du port.

Ces sommes proviennent d'un droit de tonnage qui est en moyenne de 2^{fr}, 20 pour le long cours et 0^{fr}, 75 pour le cabotage, et de droits sur les marchandises⁽¹⁾. Les ports sont gérés par des administrations spéciales constituées en vertu d'un bill du parlement et jouissant de privilèges considérables; ces administrations rentrent dans les emprunts qu'elles ont faits et pourvoient aux frais de l'entretien au moyen de ces droits locaux.

Les droits sur les navires se décomposent à l'infini, et M. Baysselance, maire de Bordeaux, les énumère ainsi : « Depuis le phare resplendissant qui éclaire leur atterrissage, jusqu'à la modeste bouée qui les guide dans le chenal; depuis les vastes magasins qui abritent les marchandises jusqu'à la boucle à laquelle s'amarre le navire; depuis les gigantesques appareils élévatoires qui permettent de charger et de décharger avec une merveilleuse rapidité jusqu'à la fontaine qui donne de l'eau douce à l'équipage, tout objet rendant un service quelconque donne lieu à une redevance, minime, il est vrai, et toujours inférieure à la valeur du service rendu, mais perpétuelle et proportionnelle à la grandeur du bâtiment et à l'importance du fret qu'il a pu percevoir lui-même. »

On comprend aisément combien l'autonomie des ports anglais a facilité leur essor, et combien cette dotation qui leur est faite rend rapide et simple l'exécution des travaux nécessaires et l'amortissement des sommes dépensées.

Les droits d'importation et d'exportation sur les marchandises constituent la principale ressource des corporations ou compagnies concessionnaires.

(1) COLSON et ROUME, p. 214.

Ces droits équivalent à de véritables droits de douane. A *Londres*, la seule compagnie des *Albert et Victoria Docks* a perçu en 1886, d'après le rapport de MM. Colson et Roume, 17 millions de droits d'importation sur les marchandises et 2200000^{fr} de droits d'exportation. La compagnie rivale *East and West India Docks* a perçu pour 9020000^{fr} de droits sur les marchandises.

Les corporations du port de Liverpool ont perçu, dans l'exercice 1879-1880, 15810000^{fr} de droits sur les marchandises.

Non seulement c'est là une ressource considérable, qui permet de gager des emprunts et d'exécuter sans retard les travaux indispensables, mais, ce qu'il importe de constater, c'est le fonctionnement du système qui permet, dans son application, de maintenir, au profit d'une partie de la marine nationale, de véritables surtaxes de pavillons et favorise, au profit des armateurs anglais, le jeu de droits différentiels.

Après 1866, le gouvernement de la Reine a bien supprimé les quelques taxes perçues, au profit du Trésor, dans les ports anglais, et proclamé le principe de la gratuité absolue pour les Français comme pour les nationaux, mais il n'a pu racheter les concessions et déposséder les corporations qui perçoivent dans les ports les droits et taxes d'une manière complètement libre.

Elles ne peuvent exiger plus que le tarif annexé dans la charte ou bill qui les a constituées, mais ce tarif général, qui ressemble à celui des chemins de fer, n'est plus celui qui est appliqué généralement; et il y a été dérogé par de nombreux tarifs spéciaux, par des abonnements, par des réductions de toute sorte.

Ce qui est habile et conforme aux habitudes anglaises, c'est que, le plus souvent, ces réductions, ces détaxes et abonnements sont consentis d'une manière spéciale, et en fait les étrangers, surtout quand ils envoient un seul navire faire une opération isolée dans un port, ne profitent pas des réductions et détaxes, et continuent à payer d'après le tarif général imprimé.

Cet état de choses est, à notre avis, une des principales causes de l'infériorité de la marine française au point de vue de la concurrence internationale.

Si l'on prend pour exemple les principaux ports à charbon, il est facile, en effet, de se rendre compte de l'impossibilité de lutter. Qu'un armateur français envoie ses bâtiments à vapeur à Cardiff ou à Penarth, ports appartenant au marquis de Bute et exploités par deux compagnies commerciales, il devra payer des droits de port et des droits sur la marchandise s'élevant en moyenne à 1^{fr} par tonne, charge considérable alors qu'il s'agit de frets qui, pour la France, varient de 4^{fr}, 50 à 6^{fr} pour l'Océan et à 8^{fr} pour la Méditerranée.

S'il fait cinquante-deux voyages dans l'année, chiffre normal pour les charbonniers allant au Havre, à Saint-Nazaire ou à la Rochelle, on voit quelle somme énorme il aura payée à la fin de l'année.

Il trouvera comme concurrents des navires anglais qui, presque tous, appartiennent à des compagnies dans lesquelles lord Bute est intéressé, qui jouissent d'abonnements ou de détaxes presque totales, et qui, par conséquent,

sont protégés par une véritable surtaxe qui varie de 5 à 10 pour 100 de la valeur du fret.

On a contesté pendant longtemps la possibilité de ces détaxes; il ne semble pas possible aujourd'hui de les mettre en doute après les constatations faites. MM. Colson et Roume ⁽¹⁾ se sont expliqués nettement à cet égard.

« Dans tous les ports que nous avons visités, disent-ils, nous avons demandé si les perceptions se faisaient toujours conformément aux tarifs. Des réponses qui nous ont été faites il résulte que les administrations publiques (notez qu'il n'en existe pas pour ainsi dire dans les ports, en Angleterre), perçoivent généralement le plein de leurs tarifs; quand elles veulent réduire une taxe, elles le font par une modification officielle.

» Ces modifications, lorsqu'elles ont pour objet les droits de tonnage sur les navires, doivent nécessairement avoir une *certaine généralité*, car les bills qui autorisent les taxes obligent à percevoir le même droit sur tous les navires rangés dans une même classe de tarifs maximum; et *ordinairement* les navires venant d'un même pays sont dans la même classe, quelle que soit leur nature.

» C'est seulement dans les cas très exceptionnels, sous une *nécessité pressante de concurrence*, ou comme mise à l'essai d'une réduction officielle des taxes projetées, que les autorités publiques locales dérogent à leur tarif.

» Mais il n'en est pas de même des SOCIÉTÉS COMMERCIALES PROPRIÉTAIRES DE DOCKS. Celles-ci revendiquent hautement le droit d'accorder des détaxes, de conclure avec les armateurs et les négociants des *traités particuliers*.

» En tout temps elles en usent dans certaines limites; dans les moments où la concurrence est très active, comme c'est le cas actuellement à Londres et à Hull, elles bouleversent complètement l'économie des tarifs.

» Plus tard, les agents du *Board of Trade*, mis en demeure par les envoyés français, après avoir dit qu'ils ne connaissaient pas officiellement de dérogation à l'égalité du traitement, répondaient : « Il est possible que vous en trouviez, nous n'avons aucun droit de contrôle : la nature humaine n'est pas infailible; le commerce et la concurrence ont des exigences qui sont parfois dures. »

» Mais quand même nous connaîtrions ces faits, nous ne pourrions y remédier; nous n'avons aucun pouvoir sur les autorités locales; seulement, ce qui prouverait qu'il n'y en a pas, c'est que les particuliers ne réclament pas alors qu'ils auraient toute facilité pour s'adresser aux tribunaux. »

L'indépendance des autorités locales, des corporations et surtout des sociétés commerciales est poussée à un tel point en Angleterre et paraît tellement en dehors de nos idées françaises, que nous voulons nous couvrir derrière le rapport officiel ⁽²⁾.

⁽¹⁾ COLSON et ROUME, p. 35 à 36.

⁽²⁾ COLSON et ROUME, p. 8.

» En dehors des cas particuliers, comme ceux où le *Board of Trade* est appelé à émettre un avis sur un bill soumis au Parlement, ou à donner une autorisation provisoire qui permette de faire certains travaux sans attendre un *bill privé*, il ne semble pas que l'*administration centrale* se préoccupe autrement de ce qui se passe dans chaque port. Les administrations locales publient leurs tarifs pour l'usage du commerce; elles publient également presque toutes des états de recettes et de dépenses, soit pour leurs actionnaires, lorsque le port appartient à une société commerciale, soit pour leurs électeurs, lorsque le port dépend d'une corporation dont les administrateurs sont nommés par les intéressés; mais le *Board of Trade* ne reçoit ni les tarifs, ni les comptes, et ne possède aucune collection de ces documents.

» De nos entretiens avec les principaux chefs de service, il résulte que *non seulement le Board of Trade n'a aucune autorité sur les tarifs, mais que même il n'est pas avisé des modifications qui y sont apportées*. Les bills qui forment la constitution de chaque port, et qui contiennent des prescriptions souvent minutieuses pour son administration, *fixent des maxima pour leurs perceptions*, imposent certaines obligations, interdisent les inégalités de traitement et les préférences non motivées. Mais le *Board of Trade n'exerce aucune surveillance* pour s'assurer de l'observation de ces diverses prescriptions, *n'a aucun corps permanent de fonctionnaires chargés de vérifier* que l'on s'y conforme. Nous nous sommes, à diverses reprises, enquis des conséquences que pourrait avoir une violation des statuts. Il nous a été partout répondu que les parties lésées s'adresseraient aux tribunaux si elles le jugeaient à propos, mais que *l'administration n'aurait nullement à intervenir*. »

Les renseignements publiés par MM. Plocq et Laroche et MM. Colson et Roume ont été puisés dans les publications commerciales, et surtout dans les réponses au questionnaire de l'Enquête parlementaire de 1883 et 1884.

Au risque d'allonger cette communication, nous ne pouvons résister au plaisir de citer encore un passage du rapport qui prouve avec quelle complaisance le gouvernement anglais sait fermer les yeux sur un état de choses favorable aux intérêts nationaux. Il s'agit de l'Enquête de 1883, et c'est la réponse d'un membre du *Board of Trade* ⁽¹⁾.

« Certaines administrations locales ont fourni des tarifs et des comptes très détaillés, mais beaucoup d'autres n'ont envoyé que des documents très sommaires. *Plusieurs Sociétés anonymes* et la plupart des particuliers *propriétaires de ports* ont, sur tout ce qui regardait les résultats financiers de l'entreprise, répondu simplement que *c'était une affaire privée*. Les *compagnies de chemins de fer*, qui possèdent un assez grand nombre de bassins et de docks, ont assez souvent répondu que les recettes et les dépenses étaient confondues, dans leurs comptes, avec celles de l'ensemble de l'exploitation.

(1) COLSON et ROUME, p. 8.

Les compagnies sont, en effet, peu désireuses de voir l'attention publique se porter sur la gestion d'entreprises que le Parlement voit dans leurs mains d'un œil défavorable, en raison de l'importance du monopole constitué par la réunion des ports et des chemins de fer. Leur peu de disposition à renseigner à cet égard l'Administration est tel qu'il nous a été donné à entendre que, pour obtenir d'elles le plus d'informations possible, il valait mieux se présenter avec une autre attache que celle du *Board of Trade*.

» Enfin, dans l'enquête de 1883, pour plusieurs *établissements de premier ordre* comme *Great Grimsby* ou les *Docks de Newport*, on indique seulement qu'aucune réponse n'a été faite au questionnaire; quant aux docks de Londres, ils ne sont même pas mentionnés. »

Il faut avouer qu'en 1866, avant la suppression de la surtaxe de pavillon, les négociateurs français auraient bien dû se préoccuper un peu de cette situation. On a promis l'égalité de traitement, tandis qu'en fait toutes les faveurs sont réservées aux navires appartenant au port et aux navires anglais et que les français payent partout les pleins tarifs.

Pour qui connaît l'organisation de l'industrie de l'armement en Angleterre, il est facile de comprendre l'importance de ce régime au point de vue de la navigation de concurrence. Tous les armateurs anglais font partie des corporations locales, et beaucoup de lignes appartiennent soit aux compagnies de chemins de fer, soit aux particuliers propriétaires de ports; pour une raison ou pour une autre, en raison des arrangements passés entre les différents ports, presque tous les navires appartenant à des Anglais jouissent donc d'un traitement de faveur et bénéficient de remises ou de détaxes dont il est difficile, le plus souvent, de déterminer l'importance, mais qui rendent impossible la lutte pour des navires étrangers.

Nous savons même que, dans certains ports appartenant à des compagnies de chemins de fer anglais qui ont des lignes régulières sur la France, des armateurs français se sont vu non seulement refuser tout abonnement, mais même refuser des tarifs de transport réduits pour leurs marchandises, la compagnie voulant se réserver le monopole de ce trafic.

Telle est la situation, elle mérite d'être étudiée et signalée; peut-être en la connaissant mieux, les armateurs français pourraient-ils espérer bénéficier, eux aussi, de certaines détaxes ou de certains abonnements.

Peut-être, par exemple, un syndicat d'armateurs pourrait-il utilement s'occuper de cette question, et engager des procès ou des négociations.

Mais nous croyons qu'il faut s'attendre à de grandes résistances, et que le plus prudent serait de modifier un peu le régime de nos ports pour arriver à y réserver à notre pavillon les mêmes avantages et la même protection.

Comment le faire sans modifier tout notre système de travaux publics? On le pourrait, croyons-nous, en remettant à des syndicats locaux ou aux chambres de commerce l'administration, au moins partielle, de nos ports et en leur

donnant le droit de racheter les droits actuels de quai et de statistique qui frappent, d'une manière uniforme, sur tous les navires et les marchandises, pour les remplacer par des taxes locales et des tarifs gradués.

Une proposition de loi tendant à étendre les attributions des chambres de commerce et à permettre la concession des travaux des ports aux départements, aux municipalités, à des syndicats ou à des compagnies, avait déjà été soumise aux Chambres en 1887 et en 1889; elle a donné lieu à une discussion publique, lors du vote du budget de 1888 et de 1889 ⁽¹⁾.

Elle faisait, croyons-nous, une distinction nécessaire entre les travaux d'utilité publique (ceux qui intéressent la défense nationale ou les intérêts généraux du pays) et les travaux d'utilité secondaire qui tendent à développer le mouvement maritime d'un port ou d'une région.

Dans la première catégorie, les auteurs du projet avaient compris : l'approfondissement des passes donnant accès dans les ports et les travaux à exécuter à l'embouchure et dans la partie maritime des fleuves et rivières. Ces grands travaux doivent rester sous la haute direction de l'État, qui ne peut les abandonner à personne et qui doit prendre à sa charge les dépenses auxquelles ils donnent lieu.

La seconde catégorie comprend, au contraire, les travaux d'aménagement et d'amélioration des ports, la création de bassins à flot, de formes de radoub, de quais, de voies ferrées, de docks, etc. Dans tous ces travaux, il y a bien un certain caractère d'intérêt général, mais la manière dont ils sont exécutés importe peu aux contribuables à qui il est indifférent qu'au lieu d'un quai on fasse une estacade, ou que tel bassin soit construit en amont ou en aval.

L'État peut donc céder aux intéressés la direction de ces travaux secondaires dont l'exécution rapide et intelligente peut faire la fortune du port qui les entreprend; par contre, il peut se décharger de tout ou partie des frais et se borner à faire des avances ou à accorder des subventions, laissant aux intéressés à pourvoir au reste de la dépense par le moyen de droits locaux.

En fait, ce système est déjà appliqué en France et les chambres de commerce de tous nos ports savent par expérience qu'elles ne peuvent espérer voir terminer un travail qu'à la condition de se substituer à un moment donné à l'État pour la partie financière. Les chambres de commerce ont actuellement avancé à l'État pour près de 100 millions et elles ont versé, à titre de dons ou de concours, une somme à peu près égale, pour un ensemble de travaux évalués à environ 500 millions, soit environ les deux cinquièmes de la dépense.

Elles ont dû recourir, pour l'amortissement et l'intérêt des emprunts contractés par elles, à l'établissement de droits locaux, mais cette imitation du régime anglais est bien incomplète.

Il importe de donner plus d'initiative aux chambres de commerce pour la

⁽¹⁾ Voir les discours de MM. Salis Monis, Le Cour et Félix Faure.

détermination et la direction des travaux à faire; il est nécessaire que, sous le contrôle de l'Administration des Ponts et Chaussées, les armateurs et commerçants indiquent les travaux dont la prompte exécution facilitera les opérations maritimes et commerciales en diminuant le temps de séjour et les frais de chargement et de déchargement.

Il faut qu'à défaut des chambres de commerce, ou concurremment avec elles, les villes et les départements puissent concourir à l'établissement et à l'exploitation des ports et que la législation permette, dans ce but, la constitution de comités ou de corporations semblables à ceux qui fonctionnent en Angleterre et qui ont été si admirablement décrits dans l'Ouvrage de M. de Franqueville.

Il faut enfin que ces administrations locales puissent utiliser, au profit des travaux à exécuter, tous les revenus du port, et qu'elles puissent substituer aux droits actuels des taxes bien étudiées, graduées suivant le voyage et la nature des marchandises, et qui, sans violer le principe de l'égalité de traitement, permettront, sous forme d'abonnement, de dégrever largement les navires français dont les propriétaires ont déjà payé, comme patentés et contribuables, une large part des dépenses faites.

Seules les autorités locales pourront jouer de ces tarifs, de manière à protéger notre Marine et à faire contribuer les étrangers aux dépenses, sans tomber dans des exagérations qui feraient la fortune des ports qui nous concurrencent.

Cette question fort délicate nous semble mériter de la part des intéressés une étude approfondie.

Au Ministère des Travaux publics, grâce à l'initiative très intelligente prise par M. Guillaïn, on a déjà commencé à marcher dans cette voie.

Lors de l'établissement des droits locaux au Havre, à Nantes et à Saint-Nazaire (¹), on a étudié des tarifs gradués et établi la faculté d'abonnement. Désormais les navires français peuvent, dans ces trois ports, bénéficier de cette mesure lorsqu'ils sont attachés à une ligne régulière. Les étrangers peuvent user du même droit, mais on comprend que les navires qui ne viennent qu'en passant et qu'aucun contrat ni intérêt n'engage à revenir dans ces ports, ce qui est le cas de la plupart des navires étrangers, ne peuvent pas profiter de cette faculté.

La voie semble donc ouverte, et nous sommes heureux de constater que la campagne commencée par la Chambre de Commerce de Bordeaux et dont nous avons pris l'initiative au Parlement a déjà produit certains résultats.

Lors du vote de la loi sur la Marine marchande, il a été inséré un article 8 qui donne toute latitude pour la transformation et l'extension des droits locaux prévus par l'article 4 de la loi du 19 mai 1866 sur les navires et les marchandises.

(¹) Nantes et Saint-Nazaire, loi du 28 mars 1889.

Il reste donc surtout à augmenter l'autonomie des chambres de commerce et à stimuler les initiatives locales pour arriver à la création de corporations analogues à celles qui fonctionnent en Angleterre. C'était l'objet des premiers articles de la proposition de loi dont nous avons déjà parlé, mais les projets de réforme des chambres de commerce et surtout le projet des chambres de navigation reproduisaient des dispositions à peu près semblables.

Dans un travail sommaire comme celui-ci, nous ne pouvons avoir la prétention de donner des solutions complètes ni d'entrer dans tous les détails.

En indiquant ce qui se passe en Angleterre, ce qui existe dans ses innombrables colonies, nous avons surtout cherché à appeler l'attention des intéressés sur une des causes principales de la décadence de notre marine.

Il sera bien facile à un congrès d'armateurs de compléter ce que nos renseignements peuvent avoir d'incomplet, de rectifier ce qui pourrait être inexact.

Nous avons ouvert aux étrangers nos ports et nous leur permettons avec une générosité sans exemple de bénéficier de tous les avantages de nos travaux publics. Leurs navires prennent 69 pour 100 du mouvement maritime de nos ports et ne payent qu'une proportion insignifiante de droits. Leurs marchandises, produits naturels et produits fabriqués, circulent sur les chemins de fer qui nous coûtent si cher et jouissent sans compensation de ces réductions de tarifs, qui ont élevé la garantie d'intérêt au chiffre annuel de 90 à 100 millions.

Ils jouissent chez nous des mêmes avantages que nous et ils ne subissent aucune des charges que nous subissons. Il serait au moins juste que, lorsque nous allons chez eux chercher un complément de fret que la nature nous a refusé, nous puissions être traités de la même manière.

Nous avons indiqué un des moyens à employer; il en existe peut-être d'autres; nous serions surtout heureux si notre travail pouvait donner lieu à une discussion et à une étude qui hâterait et faciliterait la solution d'une question que nous considérons comme vitale pour la Marine marchande française.

Discussion du Mémoire de M. Le Cour.

M. CARIÉ fait remarquer que dans l'infériorité numérique des constructions françaises comparées aux constructions anglaises il y a avant tout une question de mœurs : en France l'argent ne se porte pas vers la marine, et le législateur aurait dû se préoccuper, avant tout, d'encourager les capitaux à entrer dans les affaires maritimes. A l'appui de cette assertion, il montre que toutes les Compagnies prospères font construire en France.

M. LE COUR demande à l'assemblée de porter de nouveau son attention sur les tableaux comparatifs qu'il a montrés au cours de sa lecture, et qui prouvent que les différentes lois sur la marine marchande votées en France ont eu un effet sur la production anglaise.

C'est ainsi que la première grande poussée constatée sur les chantiers correspond au vote de la loi de 1881 : les Anglais ont cru trouver en France un important débouché à cause de la demi-prime accordée par cette loi aux navires de construction étrangère, et ils ont trop construit. Puis une nouvelle poussée s'est produite lorsque la loi de 1881 a été temporairement prorogée, suivie d'un abaissement des deux tiers dans la production lorsque la loi de 1893 a supprimé la demi-prime.

M. CARIÉ répond que ces poussées se sont faites grâce au désintéressement de l'argent anglais, qui cherche avant tout à favoriser l'industrie nationale.

M. BERTIN demande si les rapports des consuls français en Angleterre ont confirmé les résultats de l'enquête de MM. Colson et Roume.

M. DAYMARD répond affirmativement et dit qu'il est bien prouvé que les navires anglais sont privilégiés dans leurs propres ports ; mais ce n'est pas la seule cause de l'infériorité du pavillon français, et il faut la chercher surtout dans le mauvais état de notre commerce. M. Daynard ne partage pas l'appréciation de M. Carié sur la loi de 1893 ; il la trouve bonne, mais d'une durée insuffisante, parce qu'il est impossible d'espérer qu'un navire soit payé en dix ans. Les capitaux français se porteront vers la marine quand ils y trouveront des chances raisonnables de profit, et il faut remarquer que les capitaux anglais sont les premiers à s'abstenir lorsqu'ils le jugent prudent.

La construction d'un navire comporte une mise de fonds considérable : les prix français pourront certainement être améliorés, mais ils resteront toujours supérieurs aux prix anglais parce que les conditions dans lesquelles travaillent nos chantiers sont moins bonnes à différents points de vue et la différence ne sera jamais entièrement comblée par la prime à la navigation, étant donné que celle-ci n'est assurée que pour dix ans. Cette différence atteint son maximum pour les cargo-boats qui absorbent beaucoup de matériaux et peu de main-d'œuvre ; elle s'atténue avec des types de navires plus perfectionnés ou munis de machines puissantes. Pour la compenser, M. Daynard a proposé à certains armateurs qui lui demandaient des prix, d'abandonner aux constructeurs tout ou partie de la prime à la navigation ; il a calculé en effet que l'abandon de la demi-prime pendant dix ans en tenant compte de sa capitalisation, comble presque la différence entre les prix anglais et français, et qu'elle aurait été comblée entièrement si la loi avait une durée de 15 ans. Il est regrettable qu'il n'existe pas en France d'établissements de crédit organisés pour faire aux armateurs des avances qui seraient remboursées peu à peu au moyen des primes à la navigation, parce que les armateurs eux-mêmes ne se soucient pas d'immobiliser ainsi leurs capitaux.

M. CARIÉ fait observer que les conclusions de M. Daynard concordent avec les siennes, puisqu'elles établissent que les Compagnies prospères sont les seules qui peuvent commander leurs navires en France.

M. LE COUR fait remarquer enfin que la loi de 1893 a un énorme avantage sur celle de 1881 : c'est qu'elle garantit la prime pour 10 ans quelle que soit l'époque de la construction du navire.

NOUVELLE
MÉTHODE DE CALCUL DES ÉLÉMENTS D'UNE CARÈNE,

PAR M. A. KRILOFF,

Professeur à l'Académie Navale de Saint-Petersbourg.

Mon but est d'exposer ici un ensemble de méthodes générales applicables à tous les calculs que l'on doit effectuer en élaborant le projet de la coque d'un navire, savoir : les calculs du déplacement, des coordonnées du centre de carène, de la hauteur du grand et du petit métacentres, de la stabilité statique pour les grandes inclinaisons du navire, de la stabilité dynamique et des moments de flexion pour les positions du navire sur la crête et le creux d'une lame.

En pratique, on se contente généralement de calculer le déplacement, les coordonnées du centre de carène et la hauteur des deux métacentres; les autres calculs ci-dessus mentionnés ne sont effectués que rarement, vu leur longueur, quoique leur importance soit indiscutable.

Je décrirai dans cette Note *des méthodes par l'application desquelles l'exécution de tous les calculs mentionnés n'exige guère plus de temps et de peine qu'il n'en faut pour calculer le déplacement, la position du centre de carène et celles des deux métacentres par les méthodes ordinaires.*

On sait que tous ces calculs, en dernier lieu, se réduisent à la recherche de la valeur approchée de certaines intégrales définies simples ou multiples. Dans ce but, on emploie en Russie et en Angleterre la formule de Simpson, en prenant 21 sections transversales et de 7 à 11 sections horizontales. En France, pour le même nombre d'ordonnées, on se contente de la formule des trapèzes.

Les questions suivantes se posent d'elles-mêmes :

Pourquoi prend-on chez nous 21 sections transversales horizontales, et de 7 à 11 sections ?

Dans quelle mesure ces nombres sont-ils suffisants ou nécessaires ?

Quelle est la formule des quadratures approchées dont il faut faire usage ?

Quelle est la disposition la plus avantageuse des calculs ?

Jusqu'où doit-on pousser l'approximation décimale ?

Je n'ai trouvé de réponse à ces questions dans aucun des manuels d'Architecture navale que je connaisse; dans la plupart, on se contente de mentionner un exemple mal choisi par Rankine pour montrer la précision de la formule de Simpson (Rankine calcule l'aire d'un quart de cercle).

Donc, avant d'exposer un système de calculs, il en faut établir la base, et dans ce but, je formulerai ainsi les principes généraux de toutes sortes de calculs numériques :

1° La précision du calcul doit être conforme à la précision des données que l'on obtient soit par l'observation, soit par la mesure directe; quant à la précision de ces dernières, elle doit être réglée par celle que la pratique exige du résultat final.

2° Les calculs doivent être disposés de telle manière que, sans nuire à la précision du résultat final, on puisse conserver le minimum de chiffres significatifs et faire le moins possible d'opérations. On les disposera pour cela de telle sorte que l'addition et la soustraction se fassent avant la multiplication, qui doit précéder la division, et l'on ne conservera chaque fois que les chiffres strictement nécessaires.

3° Si l'on a besoin de la différence de deux nombres, petite par rapport à ces nombres, on doit tâcher de la calculer directement en évitant le calcul des nombres eux-mêmes.

4° Quand on voudra avoir des valeurs successives d'une variable peu différentes entre elles, on n'en calculera qu'une seule directement et l'on y ajoutera les corrections nécessaires pour avoir les autres. Ces corrections doivent être calculées avec une précision d'autant moindre qu'elles sont plus petites par rapport à la valeur de la variable.

Ces principes si simples, que tout le monde connaît, mais que les astronomes sont à peu près les seuls à appliquer, permettent d'abrégé d'une manière notable tous les calculs d'Architecture navale.

Ainsi, la première question qu'il nous faut résoudre est celle-ci : Quelle est la précision dont on a besoin en Architecture navale?

Toutes les données du calcul sont fournies par les plans des formes du navire. Ces plans sont construits en Russie et en Angleterre à l'échelle de $\frac{1}{48}$ ($\frac{1}{4}$ de pouce par pied). C'est l'échelle de $\frac{1}{108}$ pour les gros bâtiments et de $\frac{1}{64}$ pour les moyens que l'on adopte en France. On relève les ordonnées d'un tel plan à l'aide d'une règle portant des quarts de pouce, dont chacun équivaut à un pied, subdivisés en dix parties; ainsi, la lecture directe donne les pieds et leurs dixièmes, les centièmes sont évalués à l'œil et, ordinairement, on se contente du demi-dixième; donc, pour un grand bâtiment, d'une largeur de 70 pieds (21^m), on aura pour les ordonnées *trois* chiffres significatifs exacts et le quatrième douteux (par exemple, 34,65 pieds $\pm$ 0,03 pied). Une plus grande précision ne saurait être obtenue avec des plans construits à l'échelle de $\frac{1}{48}$: l'épaisseur des traits du dessin, les déformations du papier ou de la toile, l'erreur personnelle, etc., sont des obstacles que l'on ne peut éviter. *Donc*

tous les calculs basés sur ces plans de formes doivent être exécutés avec **TROIS chiffres significatifs exacts et le quatrième douteux.**

C'est en vue de cette précision que l'on doit choisir le nombre d'ordonnées de la formule des quadratures dont on fera usage et cette formule elle-même. En faisant ce choix, on doit se rappeler que la précision des formules de quadrature dépend, non seulement du nombre des ordonnées, mais aussi de la forme (autrement dit de l'équation) de la courbe dont on évalue l'aire; c'est pour cette raison que j'ai dit que l'exemple de Rankine était mal choisi pour donner une idée de la précision de la formule de Simpson; nous n'avons ni cercles, ni ellipses en Architecture navale.

Toutes les lignes de la carène d'un navire, au moins telles qu'on a coutume de les tracer maintenant, sont très bien exprimées par l'équation générale ci-dessous :

$$y = a \frac{1 - \left(\frac{x+h}{l+h}\right)^3}{1 + k \left(\frac{x+h}{l+h}\right)^3}$$

de la *progressive* (voir l'Appendice). L'aire de cette courbe entre deux ordonnées quelconques se calcule aisément sous forme finie. En comparant cette aire calculée par la formule exacte à l'aire de la même courbe calculée au moyen d'une formule approchée, on aura le degré de précision de cette formule pour le cas de la pratique navale. En faisant le projet du cuirassé que l'on doit présenter aux examens de sortie de l'Académie navale, j'ai exécuté tous les calculs pour les sections principales du navire : la flottaison, la maîtresse section et les couples typiques de l'avant et de l'arrière. Ces calculs, dont je donne un extrait dans l'Appendice, me montrèrent qu'en prenant vingt ordonnées et appliquant la règle de Simpson, on obtient quatre chiffres exacts pour l'aire de la flottaison, et trois seulement avec dix ordonnées pour les couples contournés de l'arrière.

Mais pourquoi faire usage de la règle de Simpson ou de celle des trapèzes plutôt que de toute autre dont le Calcul intégral nous offre un si ample choix?

Évidemment, il faut prendre la formule qui conduit le plus promptement au but. De toutes les règles des quadratures approchées, celle de Gauss est la plus exacte pour un même nombre d'ordonnées. Dans son application, elle exige une distribution spéciale d'ordonnées (non équidistantes) dont chacune doit être ensuite multipliée par un facteur généralement incommensurable; la somme de ces produits, étant multipliée par la base, donne l'aire de la courbe.

La formule de M. Hermite, presque aussi précise que celle de Gauss, n'en diffère qu'en ce que l'on n'a pas besoin d'une table spéciale pour les abscisses et les coefficients. On les trouvera tout calculés dans une Table de logarithmes pour tel nombre d'ordonnées que l'on veut.

Vient ensuite la règle de Côtes, qui n'exige que des ordonnées équidistantes en nombre arbitraire, les facteurs qui multiplient ces ordonnées sont tous des fractions ordinaires, mais pas aisément maniables dès que le nombre d'ordonnées est quelque peu considérable; par exemple quand il y a sept ordonnées un des coefficients est $\frac{3577}{17280}$, et avec dix ordonnées, on rencontre

des coefficients comme $\frac{16067}{598752}$ et $-\frac{260550}{598752}$, etc. La règle de Simpson n'est qu'un cas particulier de la formule de Côtes.

La formule dont l'emploi est le plus simple et la précision égale à celle de la règle de Côtes est celle de notre illustre académicien M. Tchebycheff. Les ordonnées sont distribuées d'une manière spéciale (non équidistantes); pour évaluer l'aire de la courbe, on n'a qu'à multiplier leur moyenne arithmétique par la base (*voir* l'Appendice).

Les mêmes calculs que pour la formule de Simpson montrent qu'en prenant *sept* ordonnées distribuées à la Tchebycheff sur toute la longueur du navire, on obtient l'aire des flottaisons avec une précision suffisante. Cinq ordonnées suffisent pour les couples. Avec neuf ordonnées, on a quatre chiffres exacts.

Donc, pour effectuer les calculs du déplacement, de la position du centre de carène, etc., on appliquera la formule de M. Tchebycheff en prenant *sept* ou *neuf* sections transversales et *cinq* sections horizontales. Si l'on voulait avoir des résultats d'une précision extrême, auquel cas on devrait avoir des plans de forme à une plus grande échelle et tracés avec un soin extrême, on prendrait *neuf* sections transversales et *sept* horizontales, ce qui donnerait quatre chiffres exacts.

Une autre formule, très commode pour le calcul et suffisamment exacte, est celle de M. Radau. Cette formule est surtout avantageuse pour les plans des formes des navires français qu'il est réglementaire de tracer avec vingt et une sections verticales et dix horizontales équidistantes. La perpendiculaire *N* ayant le numéro 0, on prendra les *huit* ordonnées aux numéros suivants : 1, 4, 6, 9, 11, 14, 16, 19. Soient $y_0, y_1, y_6, \dots, y_{16}, y_{19}$ ces ordonnées, l'aire d'une flottaison sera donnée par la formule de M. Radau :

$$S = \frac{1}{2}(M_1 + M_2) + \frac{1}{90}(M_1 - M_2),$$

où

$$M_1 = \frac{1}{4}(y_4 + y_6 + y_{14} + y_{16})L,$$

$$M_2 = \frac{1}{4}(y_1 + y_9 + y_{11} + y_{19})L,$$

L étant la longueur entre perpendiculaires. Pour la sommation de ces aires, la formule de M. Tchebycheff est préférable.

Pour le calcul du centre de carène, on fera usage de la même formule de Tchebycheff; seulement, pour se conformer au deuxième principe général, on prendra pour plan des moments la maîtresse section et le plan de la ligne d'eau moyenne et non les perpendiculaires *N* ou *R* et la flottaison en charge,

comme on le fait ordinairement; alors on aura le Tableau ci-dessous, que je donne pour le cas le plus compliqué de neuf et sept sections.

CALCUL DU DÉPLACEMENT.

Longueur du navire L =						Tirant d'eau T =				
Partie R.						Partie A'.				
Couples	9.	8.	7.	6.	x.	4.	3.	2.	1.	Sommes des lignes.
Lignes d'eau	$x_9 = -x_1$	$x_8 = -x_2$	$x_7 = -x_3$	$x_6 = -x_4$	$x_5 = 0$	$x_4 =$	$x_3 =$	$x_2 =$	$x_1 =$	
I. $z_1 =$	y_{19}	y_{18}	y_{17}	y_{16}	y_{15}	y_{14}	y_{13}	y_{12}	y_{11}	s_1
II. $z_2 =$	y_{29}	y_{28}	y_{27}	y_{26}	y_{25}	y_{24}	y_{23}	y_{22}	y_{21}	s_{11}
III. $z_3 =$	y_{39}	y_{38}	y_{37}	y_{36}	y_{35}	y_{34}	y_{33}	y_{32}	y_{31}	s_{111}
IV. $z_4 = 0$	y_{49}	y_{48}	y_{47}	y_{46}	y_{45}	y_{44}	y_{43}	y_{42}	y_{41}	s_{1111}
V. $z_5 = -z_3$	y_{59}	y_{58}	y_{57}	y_{56}	y_{55}	y_{54}	y_{53}	y_{52}	y_{51}	s_5
VI. $z_6 = -z_2$	y_{69}	y_{68}	y_{67}	y_{66}	y_{65}	y_{64}	y_{63}	y_{62}	y_{61}	s_{51}
VII. $z_7 = -z_1$	y_{79}	y_{78}	y_{77}	y_{76}	y_{75}	y_{74}	y_{73}	y_{72}	y_{71}	s_{511}
Sommes des colonnes...	s_9	s_8	s_7	s_6	s_5	s_4	s_3	s_2	s_1	S

$$\text{Déplacement} \dots \dots \dots D = \frac{2 \cdot L \cdot T \cdot S}{9 \cdot 7}.$$

La simplicité du Tableau n'exige aucune explication; nous donnerons d'ailleurs plus loin un exemple numérique. On voit bien les modifications à faire quand on fera usage d'un nombre moindre de sections transversales et horizontales.

Pour le calcul des coordonnées du centre de carène, on a les Tableaux que voici :

CALCUL DES COORDONNÉES DU CENTRE DE CARÈNE.

I. *Abscisse du centre de carène.*

Sommes des colonnes partie A'.	s_4	s_3	s_2	s_1	
Sommes des colonnes partie R.	s_6	s_7	s_8	s_9	
Différence A' — R.	$s_4 - s_6$	$s_3 - s_7$	$s_2 - s_8$	$s_1 - s_9$	
Abscisses x_1	x_4	x_3	x_2	x_1	Somme des moments
Moments effectifs	$(s_4 - s_6)x_4$	$(s_3 - s_7)x_3$	$(s_2 - s_8)x_2$	$(s_1 - s_9)x_1$	M

$$\text{Abscisse du centre de carène} \dots \dots x_c = \frac{M}{S} =$$

Cette abscisse est exprimée en mêmes unités que les abscisses $x_4, x_3, \dots$

II. *Hauteur du centre de carène.*

Sommes des ordonnées des lignes d'eau supérieures	s_1	s_{11}	s_{111}	
Sommes des ordonnées des lignes d'eau inférieures	s_{511}	s_{51}	s_5	
Différence	$s_1 - s_{511}$	$s_{11} - s_{51}$	$s_{111} - s_5$	
Distance de la ligne d'eau à la ligne d'eau IV	z_1	z_2	z_3	Somme des moments.
Moments effectifs	$(s_1 - s_{511})z_1$	$(s_{11} - s_{51})z_2$	$(s_{111} - s_5)z_3$	N

$$\text{Ordonnée } z_c \text{ du centre de carène au-dessus de la ligne d'eau IV} \dots z_c = \frac{N}{S} =$$

$$\text{Centre de carène au-dessous de la flottaison en charge} \dots \dots h = \frac{T}{2} - z_c =$$

La hauteur du métacentre au-dessus du centre de carène est donnée par la formule

$$\rho = \frac{\frac{2}{3} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} y^3 dx}{D},$$

par la formule de M. Tchebycheff l'intégrale a pour valeur

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} y^3 dx = \frac{(y_1^3 + y_2^3 + \dots + y_9^3) L}{9}$$

et le déplacement

$$D = \frac{2 L T S}{9 \cdot 7};$$

donc

$$(1) \quad \rho = \frac{7(y_1^3 + y_2^3 + \dots + y_9^3)}{3 T S}.$$

Si l'on avait pris n sections verticales et k sections horizontales, la formule (1) serait

$$(2) \quad \rho = \frac{k(y_1^3 + y_2^3 + \dots + y_n^3)}{3 T S};$$

les y sont les ordonnées de la flottaison. Le Tableau du calcul est évident; quant au nombre de chiffres significatifs, conformément au deuxième principe, on n'en gardera que quatre dans le cube de l'ordonnée au maître, ce qui réglera le reste, comme on le voit dans l'exemple numérique.

La hauteur du métacentre longitudinal est donnée par la formule

$$\Pi = \frac{\frac{2}{3} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} x^2 y dx}{D};$$

nous supposons la distance du centre de gravité de la flottaison au maître assez petite pour qu'on puisse la négliger. Sinon, on devra ajouter au numérateur la correction $F \cdot \varepsilon^2$, où F est l'aire totale de la flottaison et ε la distance de son centre de gravité au maître couple.

Les sections verticales étant distribuées symétriquement par rapport au maître, les abscisses sont liées deux à deux par les relations

$$x_1 = -x_9, \quad x_2 = -x_8, \quad x_3 = -x_7, \quad x_4 = -x_6, \quad x_5 = 0,$$

et l'intégrale a pour valeur

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} x^2 y dx = \frac{1}{9} [(y_1 + y_9) x_1^2 + (y_2 + y_8) x_2^2 + (y_3 + y_7) x_3^2 + (y_4 + y_6) x_4^2] L,$$

donc

$$H = \frac{7[(r_1 + r_9)x_1^2 + (r_2 + r_8)x_2^2 + (r_3 + r_7)x_3^2 + (r_4 + r_6)x_4^2]}{TS}.$$

Les changements qu'il faut apporter dans cette formule, quand on fera usage d'un autre nombre de sections, sont évidents, ainsi que le Tableau du calcul, pour lequel on emploiera la règle à calcul ou des logarithmes à quatre décimales.

Je passe maintenant à l'exposition d'une méthode pour le calcul de la stabilité statique.

On a proposé pour le calcul de la stabilité statique une multitude de méthodes, qui toutes peuvent être abrégées très notablement, en employant la règle de Tchebycheff au lieu de celle de Simpson ou des trapèzes, sans rien changer à la disposition des calculs. On prendra sept ou neuf sections transversales au lieu de vingt, et le travail sera réduit dans le même rapport sans nuire à la précision des résultats.

Dans plusieurs des méthodes proposées on calcule la stabilité pour des déplacements différents du navire et par interpolation on réduit le résultat au déplacement donné.

Mais pour un navire de guerre, où les variations des poids sont relativement faibles, c'est la stabilité en charge complète qui offre le plus grand intérêt; je vais exposer une méthode dont l'application est surtout avantageuse dans ce cas. On sait qu'il s'agit de mener une série de flottaisons isocarènes et de déterminer la position du centre de chacune de ces carènes de volume donné D.

Ainsi le calcul de la stabilité comprendra deux opérations distinctes : 1° construction des flottaisons isocarènes; 2° calcul des coordonnées des centres des carènes inclinées qui donnent immédiatement les bras de levier de la stabilité.

Commençons par expliquer la première de ces opérations. Soit MK (fig. 1) la section représentative du navire dont AB est la flottaison en charge pour la position droite. Menons par l'axe O de cette flottaison le plan B₁A₁ incliné de l'angle θ_1 sur AB; si l'on prenait ce plan pour la flottaison nouvelle, le déplacement de la carène aurait subi une variation δD égale à la différence des volumes v_1 et v_2 des deux onglets dont OAA₁ et OBB₁ sont les sections représentatives. Ces volumes ont pour mesure

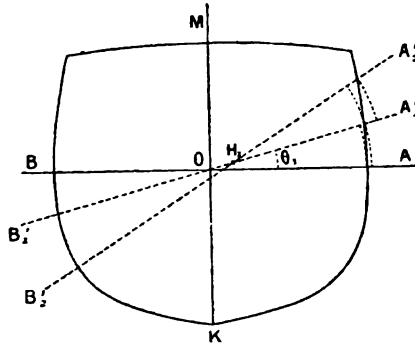
$$v_1 = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} AOA_1 dx \quad \text{et} \quad v_2 = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} BOB_1 dx.$$

Désignant par a_0 et a_1 les ordonnées OA et OA₁ et par b_0 et b_1 les ordonnées OB et OB₁, on peut poser, en envisageant l'aire des triangles OAA₁ et

OBB'_1 comme moyenne entre les deux secteurs circulaires décrits du centre O avec a_0 et a_1 , b_0 et b_1 pour rayons :

$$(1) \quad \begin{cases} OAA'_1 = \frac{1}{4} (a_0^2 + a_1^2) \theta_1. \\ OBB'_1 = \frac{1}{4} (b_0^2 + b_1^2) \theta_1. \end{cases}$$

Fig. 1.



Si l'angle θ_1 ne surpasse pas 10° et que les rapports $\frac{a_1}{a_0}$ et $\frac{b_1}{b_0}$ soient compris entre 0,9 et 1,1, ces deux formules ont une précision plus que suffisante, comme on s'en convaincra par un calcul facile.

En prenant n sections distribuées à la Tchebycheff, on a

$$\begin{aligned} v_1 &= \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} OAA'_1 dx = \frac{\theta_1}{4} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} (a_0^2 + a_1^2) dx = \frac{\theta_1}{4} \frac{L}{n} \sum_{k=1}^{k=n} (a_{0k}^2 + a_{1k}^2), \\ v_2 &= \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} OBB'_1 dx = \frac{\theta_1}{4} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} (b_0^2 + b_1^2) dx = \frac{\theta_1}{4} \frac{L}{n} \sum_{k=1}^{k=n} (b_{0k}^2 + b_{1k}^2); \end{aligned}$$

donc la variation du déplacement

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} \delta_1 D &= v_1 - v_2 = \frac{\theta_1}{4} \frac{L}{n} \sum_{k=1}^{k=n} [(a_{0k}^2 + a_{1k}^2) - (b_{0k}^2 + b_{1k}^2)] \\ &= \frac{\theta_1}{4} \frac{L}{n} \sum_{k=1}^{k=n} (a_{0k}^2 - b_{0k}^2) + (a_{1k}^2 - b_{1k}^2) \dots \end{aligned} \right.$$

Pour la flottaison en charge, on a $a_{0k} = b_{0k}$ et

$$(2') \quad \delta_1 D = \frac{\theta_1}{4} \frac{L}{n} \sum_{k=1}^{k=n} (a_{1k}^2 - b_{1k}^2) \dots$$

Si cette expression était nulle, le plan $A'_1 B'_1$ serait la flottaison requise. Il n'en sera pas généralement ainsi, et si, $\delta_1 D > 0$, il faut abaisser le plan $A'_1 B'_1$

d'une quantité p_1 telle que le volume du cylindre $A'_1 B'_1 \cdot p_1$ soit égal à $\delta_1 D$.
L'aire de la section $A'_1 B'_1$ étant

$$A'_1 B'_1 = \frac{L}{n} \sum_{k=1}^{k=n} (a_{1k} + b_{1k}),$$

on a

$$(3) \quad p_1 = \frac{\theta_1}{4} \frac{\sum_{k=1}^{k=n} (a_{1k}^2 - b_{1k}^2)}{\sum_{k=1}^{k=n} (a_{1k} + b_{1k})}.$$

En désignant par e_1 la distance du centre de gravité de la section $A'_1 B'_1$ à l'axe O, on a

$$(4) \quad e_1 = \frac{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^{k=n} (a_{1k}^2 - b_{1k}^2)}{\sum_{k=1}^{k=n} (a_{1k} + b_{1k})};$$

donc

$$(5) \quad p_1 = \frac{1}{2} e_1 \theta_1.$$

Soit (fig. 2) $OE_1 = e_1$, tirons la perpendiculaire $E_1 N$ et portons $E_1 H_1 = p_1$, alors le plan $B_1 H_1 A_1$ est la flottaison isocarène cherchée. Vu la petitesse des lignes p_1 et e_1 , quand l'angle $\theta_1 < 10^\circ$, on aura

$$KH_1 = OK = \frac{1}{2} e_1.$$

La généralisation de cette propriété de deux flottaisons isocarènes voisines nous servira de base pour leur construction.

Nous entendrons dans la suite par deux *flottaisons voisines* deux flottaisons assez proches pour qu'on puisse, avec la précision voulue, considérer

Fig. 2.

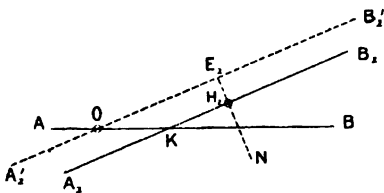
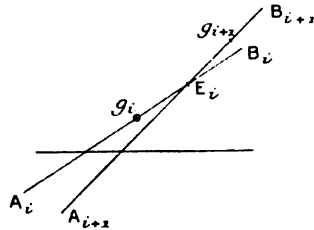


Fig. 3.



l'aire des sections transversales des onglets, comme moyenne arithmétique des aires des deux secteurs circulaires correspondants et faire usage pour le calcul de ces aires des formules (1).

Soit $A_i B_i$ (fig. 3) une flottaison quelconque isocarène avec AB et inclinée de l'angle θ_i , g_i son centre de gravité; soit de même $A_{i+1} B_{i+1}$ la flottaison

isocarène voisine, inclinée de l'angle θ_{i+1} , g_{i+1} son centre de gravité. En désignant par a_i et b_i les ordonnées de la flottaison $A_i B_i$, mesurées à partir d'un axe longitudinal passant par g_i , et par a_{i+1} et b_{i+1} celles de $A_{i+1} B_{i+1}$ relevées à partir de g_{i+1} et posant $e_i = g_i E$; $e_{i+1} = g_{i+1} E$, on aura

$$\delta D = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{4} \frac{L}{n} \sum [(a_i - e_i)^2 - (b_i + e_i)^2 + (a_{i+1} + e_{i+1})^2 - (b_{i+1} - e_{i+1})^2].$$

Les deux flottaisons étant isocarènes, δD est nul; de même les sommes

$$\sum (a_i^2 - b_i^2) = 0 \quad \text{et} \quad \sum (a_{i+1}^2 - b_{i+1}^2) = 0,$$

par les propriétés du centre de gravité; on a donc

$$(6) \quad e_i \sum (a_i + b_i) = e_{i+1} \sum (a_{i+1} + b_{i+1}) \dots$$

ce qui exprime le théorème suivant : *Les moments statiques des aires de deux flottaisons isocarènes voisines par rapport à la droite de leur intersection sont égaux.*

Nous avons déjà dit ce qu'il faut entendre par flottaisons voisines.

Généralement les aires de deux flottaisons voisines sont sensiblement égales; alors

$$e_i = e_{i+1},$$

c'est-à-dire que leurs centres de gravité sont équidistants de la droite de leur intersection (¹). On voit que le théorème ci-dessus n'est qu'une généralisation du théorème d'Euler sur deux flottaisons infiniment proches : la limite de e_i et de e_{i+1} est zéro.

Supposons que l'on ait construit la série des flottaisons isocarènes successives et voisines deux à deux; soit $OA_1 A_2 A_3 A_4 A_5$ (fig. 4) le polygone formé par leur intersection avec le plan du maître couple; $g_1, g_2, \dots, g_5$ les projections des centres de gravité des flottaisons respectives. Il s'agit de montrer une méthode qui permette de construire cette série de flottaisons.

Menant par l'axe O de la flottaison en charge un plan auxiliaire OH_1 , on mesure ses ordonnées, que nous désignerons par a_1 et b_1 , et on calcule la longueur

$$e_1 = \frac{1}{2} \frac{\sum (a_1^2 - b_1^2)}{\sum (a_1 + b_1)},$$

et portant $OA_1 = \frac{1}{2} e_1$ on pourra tracer la première flottaison $A_1 A_2$ inclinée de l'angle θ_1 sur la flottaison en charge. Elle coïncidera pratiquement avec OH_1 .

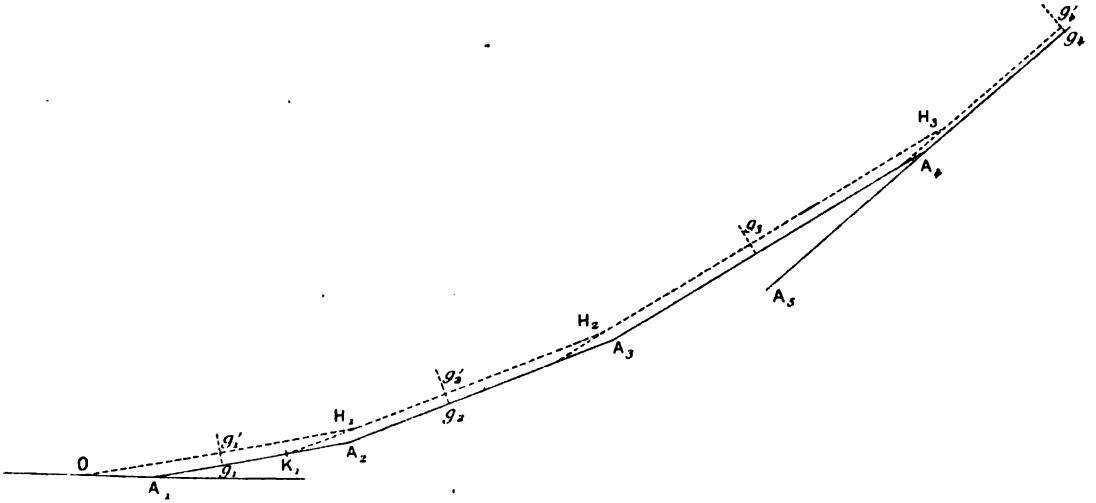
(¹) Sous cette dernière forme, le théorème n'exprime que cette assertion évidente par elle-même : la courbe F enveloppe des flottaisons isocarènes comprises entre des flottaisons voisines peut être remplacée par son cercle osculateur.

Pour tracer la flottaison suivante, inclinée de l'angle θ_2 , on portera la longueur

$$OH_1 = r_{11} = e_1 + \frac{1}{2} e_1 \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1} + \frac{\theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \right),$$

et par le point H_1 , on mènera le second plan auxiliaire H_1H_2 formant l'angle θ_2 avec OA_1 . Ce plan serait la flottaison isocarène requise A_2A_3 , si la portion correspondante de la courbe F enveloppe des flottaisons isocarènes pouvait

Fig. 4.



être remplacée par son cercle osculateur, ou plus rigoureusement par le cercle qui touche aux points O et g_1 les flottaisons respectives. En effet, si cette courbe était un cercle, le point A_2 serait au point K_1 , tel que $g_1K_1 : A_1g_1 = \tan \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) : \tan \frac{1}{2} \theta_1$; les angles θ_1 et $\theta_2 - \theta_1$ étant moindres que 10° , on peut remplacer leurs tangentes par les angles eux-mêmes et, remarquant que $A_1g_1 = \frac{1}{2} e_1$, on a

$$A_1g_1 = \frac{1}{2} e_1 \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1}.$$

La distance des plans A_1A_2 et OH_1 étant $p_1 = \frac{1}{2} e_1 \theta_1$, on a

$$K'H = \frac{p_1}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} - \frac{1}{2} e_1 \frac{\theta_1}{\theta_2 - \theta_1},$$

donc

$$OH_1 = e_1 + \frac{1}{2} e_1 \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1} + \frac{1}{2} e_1 \frac{\theta_1}{\theta_2 - \theta_1}.$$

La courbe F n'étant pas un cercle, le plan H_1H_2 ainsi déterminé ne sera pas une flottaison isocarène. Pour faire la correction, on relèvera les ordonnées a_1 et b_2 du plan H_1H_2 à partir du point H_1 ; on voit alors que l'erreur sur

le déplacement est

$$\begin{aligned}\delta_2 D &= \delta_1 D + \frac{1}{4}(\theta_2 - \theta_1) \frac{L}{n} \sum [(a_2^2 - b_2^2) + (a_1 - r_1)^2 - (b_1 + r_1)^2] \\ &= \delta_1 D + \frac{1}{4}(\theta_2 - \theta_1) \frac{L}{n} \left[\sum (a_i^2 - b_i^2) + \sum (a_i^2 - b_i^2) - 2r_1 \sum (a_i + b_i) + n r_1^2 \right];\end{aligned}$$

r_1 est en général si petit que le terme $n r_1^2$ peut être négligé; alors, en posant d'une façon générale

$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum (a_i^2 - b_i^2) = Q_i, \quad \sum (a_i + b_i) = q_i, \\ e_i = \frac{1}{2} \frac{Q_i}{q_i}, \quad p_i = \frac{\delta_i D}{q_i \frac{L}{n}} \end{array} \right.$$

on a

$$(8) \quad p_2 = p_1 \frac{q_1}{q_2} + \frac{1}{2}(\theta_2 - \theta_1) \left(e_2 + e_1 \frac{q_1}{q_2} - r_1 \frac{q_1}{q_2} \right).$$

En posant

$$\begin{array}{llll} A_1 g_1 = l_1, & A_2 g_2 = l_2, & A_3 g_3 = l_3, & \dots, \\ g_1 A_2 = l'_1, & g_2 A_3 = l'_2, & g_3 A_4 = l'_3, & \dots, \end{array}$$

et faisant les mêmes raisonnements qui ont servi pour mener le plan auxiliaire $H_1 H_2$, on verra que, pour tracer le plan auxiliaire $H_2 H_3$ incliné de l'angle θ_3 , on portera la longueur

$$r_2 = H_1 H_2 = e_2 + g_2 k_2 + \frac{p_2}{\theta_3 - \theta_2},$$

mais

$$g_2 k_2 : A_2 g_2 = (\theta_3 - \theta_2) : (\theta_2 - \theta_1),$$

donc

$$g_2 k_2 = A_2 g_2 \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} = l_2 \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1};$$

mais on a

$$A_2 g_2 = l_2 = \frac{p_1 - p_2}{\theta_2 - \theta_1} + e_2,$$

ainsi

$$(9) \quad r_2 = e_2 \left(1 + \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \right) + \frac{p_2}{\theta_3 - \theta_2} + \frac{p_1 - p_2}{\theta_2 - \theta_1} \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1}, \quad \dots,$$

et, pour effectuer la correction, on relèvera les ordonnées de ce plan à partir du point H_2 et on calculera la grandeur de p_3 par la formule

$$(10) \quad p_3 = p_2 \frac{q_2}{q_3} + \frac{1}{2}(\theta_3 - \theta_2) \left(e_3 + e_2 \frac{q_2}{q_3} - r_2 \frac{q_2}{q_3} \right), \quad \dots$$

On marquera ensuite le point H_3 par lequel on mènera le plan $H_3 H_4$ dont l'inclinaison soit θ_4 , et on continuera ainsi de proche en proche, en employant pour passer d'un plan au suivant les formules

$$(11) \quad H_{i-1} H_i = r_i = e_i \left(1 + \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{\theta_i - \theta_{i-1}} \right) + \frac{p_i}{\theta_{i+1} - \theta_i} + \frac{p_{i-1} - p_i}{\theta_i - \theta_{i-1}} \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{\theta_i - \theta_{i-1}}, \quad \dots,$$

$$(12) \quad p_i = p_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} + \frac{1}{2}(\theta_i - \theta_{i-1}) \left(e_i + e_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} - r_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} \right), \quad \dots$$

En procédant de la sorte, on construira immédiatement toutes les flottaisons isocarènes, car les valeurs des p_i seront tellement faibles que les plans auxiliaires $OH_1, H_1 H_2$ coïncideront pratiquement avec les flottaisons.

Réunissons donc toutes les formules dont nous aurons besoin pour le calcul des flottaisons isocarènes.

Première flottaison; angle d'inclinaison θ_1 .

$$Q_1 = \sum (a_1^2 - b_1^2), \quad q_1 = \sum (a_1 + b_1),$$

$$e_1 = \frac{1}{2} \frac{Q_1}{q_1}, \quad p_1 = \frac{1}{2} e_1 \theta_1.$$

Deuxième flottaison; angle d'inclinaison θ_2 .

$$OH_1 = \tau_1 = e_1 + \frac{1}{2} e_1 \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1} + \frac{\theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \right),$$

$$Q_2 = \sum (a_2^2 - b_2^2), \quad q_2 = \sum (a_2 + b_2),$$

$$e_2 = \frac{1}{2} \frac{Q_2}{q_2}, \quad p_2 = p_1 \frac{q_1}{q_2} + \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) \left(e_2 + e_1 \frac{q_1}{q_2} - \tau_1 \frac{q_1}{q_2} \right).$$

Troisième flottaison; angle d'inclinaison θ_3 .

$$H_1 H_2 = \tau_2 = e_2 \left(1 + \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \right) + \frac{p_2}{\theta_3 - \theta_2} + \frac{p_1 - p_2}{\theta_2 - \theta_1} \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1},$$

$$Q_3 = \sum (a_3^2 - b_3^2), \quad q_3 = \sum (a_3 + b_3),$$

$$e_3 = \frac{1}{2} \frac{Q_3}{q_3}, \quad p_3 = p_2 \frac{q_2}{q_3} + \frac{1}{2} (\theta_3 - \theta_2) \left(e_3 + e_2 \frac{q_2}{q_3} - \tau_2 \frac{q_2}{q_3} \right),$$

.....,

i^{ème} flottaison; angle d'inclinaison θ_i .

$$(13) \left\{ \begin{array}{l} H_{i-2} H_{i-1} = \tau_{i-1} = e_{i-1} \left(1 + \frac{\theta_i - \theta_{i-1}}{\theta_{i-1} - \theta_{i-2}} \right) + \frac{p_{i-1}}{\theta_i - \theta_{i-1}} + \frac{p_{i-2} - p_{i-1}}{\theta_{i-1} - \theta_{i-2}} \frac{\theta_i - \theta_{i-1}}{\theta_{i-1} - \theta_{i-2}}, \\ Q_i = \sum (a_i^2 - b_i^2), \quad q_i = \sum (a_i + b_i), \\ e_i = \frac{1}{2} \frac{Q_i}{q_i}, \quad p_i = p_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} + \frac{1}{2} (\theta_i - \theta_{i-1}) \left(e_i + e_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} - \tau_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} \right). \end{array} \right.$$

Dans ces formules a_i et b_i sont les ordonnées d'immersion et d'émer-sion du plan auxiliaire $H_{i-1} H_i$ mesurées à partir du point H_{i-1} . Pendant le calcul, on fera attention aux signes des quantités e_i , n_i et p_i , et l'on portera sur le dessin les valeurs positives de e_i et n_i dans la direction des ordonnées immergentes, les valeurs négatives dans la direction inverse. Une valeur positive de p_i désigne que la flottaison correspondante doit être tracée *au-dessous* de son plan auxiliaire et inversement.

On voit par les formules ci-dessus que tout le travail revient au calcul des sommes

$$\sum (a_i^3 - b_i^3) \text{ et } \sum (a_i + b_i).$$

Les ordonnées a_i et b_i étant généralement peu différentes, il est préférable de calculer $(a_i^3 - b_i^3)$ par la formule

$$a_i^3 - b_i^3 = (a_i + b_i)(a_i - b_i),$$

la multiplication se faisant immédiatement à vue d'œil, car on n'a pas besoin de plus de trois chiffres significatifs dans le produit; ainsi on emploiera pour le calcul des flottaisons isocarènes successives le Tableau suivant, que nous donnons pour le cas de *neuf* sections transversales.

¹^{ème} FLOTTAISON INCLINÉE $\theta_i =$ °. — Plan auxiliaire $H_{i-1}H_i$.

Numéro de la section.	Ordonnées					Cubes des ordonnées (')	
	immer- sion	émer- sion	$a_i + b_i$	$a_i - b_i$	$a_i^3 - b_i^3 = (a_i + b_i)(a_i - b_i)$	a_i^3	b_i^3
1...	a_{i1}	b_{i1}	$a_{i1} + b_{i1}$	$a_{i1} - b_{i1}$	$(a_{i1} + b_{i1})(a_{i1} - b_{i1})$	a_{i1}^3	b_{i1}^3
2...	a_{i2}	b_{i2}	$a_{i2} + b_{i2}$	$a_{i2} - b_{i2}$	$(a_{i2} + b_{i2})(a_{i2} - b_{i2})$	a_{i2}^3	b_{i2}^3
3...	a_{i3}	b_{i3}	"	"	"	"	"
4...	a_{i4}	b_{i4}	"	"	"	"	"
5...	a_{i5}	b_{i5}	"	"	"	"	"
6...	a_{i6}	b_{i6}	"	"	"	"	"
7...	a_{i7}	b_{i7}	"	"	"	"	"
8...	a_{i8}	b_{i8}	"	"	"	"	"
9...	a_{i9}	b_{i9}	$a_{i9} + b_{i9}$	$a_{i9} - b_{i9}$	$(a_{i9} + b_{i9})(a_{i9} - b_{i9})$	a_{i9}^3	b_{i9}^3

Sommes : $q_i =$

$$Q_i = \frac{+}{-} \quad I =$$

$$e_i = \frac{1}{2} \frac{Q_i}{q_i} = \dots,$$

$$p_i = p_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} + \frac{1}{2} (\theta_i - \theta_{i-1}) \left(e_i + e_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} - \tau_{i-1} \frac{q_{i-1}}{q_i} \right) = \dots,$$

$$\tau_i = e_i \left(1 + \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{\theta_i - \theta_{i-1}} \right) + \frac{p_i}{\theta_{i+1} - \theta_i} + \frac{p_{i-1} - p_i}{\theta_i - \theta_{i-1}} \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{\theta_i - \theta_{i-1}} = \dots$$

Pour de plus amples détails du calcul, je joins l'exemple numérique où l'on verra aussi la manière de tenir compte de la discontinuité des formes des navires comme des casemates, spardecks, etc.

Ces développements et ces formules paraîtront peut-être un peu fatigants; cela provient de ce qu'elles traitent le cas le plus général quand les angles

(') Ces deux dernières colonnes sont nécessaires pour le calcul des bras de levier.

d'inclinaisons successives ne croissent pas en progression arithmétique et que l'on ne peut pas poser $\frac{q_i}{q_{i+1}} = 1$, ni indiquer d'autres simplifications qui se présenteront toujours, vu la petitesse des quantités p_i, e_i . On remarquera toutes ces simplifications en faisant le calcul dans chaque cas particulier pour en profiter.

Il pourrait sembler que la construction de la courbe C (lieu des centres de carène) doit s'effectuer immédiatement dès qu'on connaît la courbe F pour laquelle nous venons d'expliquer la construction du polygone tangent ainsi que des points de contact sur chaque côté (ce sont les points $g_1, g_2, \dots$); mais une telle méthode serait défectueuse, car une petite erreur sur l_i aurait une influence notable sur la position du centre de carène. Il est donc nécessaire d'employer une autre méthode, qui ne présente pas cet inconvénient.

On pourrait, par exemple, tracer réellement les flottaisons isocarènes, relever leurs ordonnées à partir des points $g_1, g_2, \dots$ et employer la méthode de Barnes, en se servant pour les quadratures de la formule de Tchebycheff; mais il serait plus avantageux de profiter des ordonnées des plans auxiliaires que l'on a déjà relevées.

La méthode qu'il convient d'employer alors est tout aussi bien connue que la précédente; elle consiste à calculer les coordonnées des centres des carènes détachées par les plans auxiliaires successifs et à faire ensuite les corrections nécessaires; mais nous tâcherons de la développer d'une manière un peu différente de celle qui est consacrée par l'usage; afin de pouvoir assigner deux limites entre lesquelles la position de chacun des centres de carènes est comprise; c'est nécessaire pour bien juger de la précision des résultats du calcul, toutes les formules n'étant qu'approximatives. Les formules que nous développerons donnent deux limites très resserrées. En prenant la moyenne, on est sûr que l'erreur ne dépasse pas la demi-différence des limites.

Supposons que l'on connaisse la position du centre C_i de la carène correspondant à l'inclinaison θ_i et soit $H_{i-1}H_i$ le plan auxiliaire dont on a relevé les ordonnées a_i et b_i .

Pour passer à l'inclinaison θ_{i+1} , il faut, d'après notre manière de procéder : 1° ajouter la tranche $\delta_i D$ entre la flottaison θ_i et son plan auxiliaire; 2° retrancher l'onglet émergent V_1 compris entre les plans auxiliaires $H_{i-1}H_i$ (inclinés de l'angle θ_i) et le plan H_iH_{i+1} (incliné de l'angle θ_{i+1}); 3° ajouter l'onglet immergent V_2 compris entre les mêmes plans, et 4° retrancher la tranche $\delta_{+i} D$ comprise entre le plan H_iH_{i+1} et la flottaison isocarène θ_{i+1} .

En désignant par y_{i+1} et z_{i+1} les coordonnées du centre de carène C_{i+1} correspondant à l'inclinaison θ_{i+1} , par y_i et z_i celles du centre C_i , par α_1 et β_1 les coordonnées du centre de gravité de l'onglet v_1 et par α_2, β_2 celles de l'onglet v_2 , par c_i et d_i celles du point H_i et par $(c_i + \gamma_i)$ et $(d_i + \varepsilon_i)$, et $(c_i + \gamma_{i+1})$ et $(d_i + \varepsilon_{i+1})$ les coordonnées des centres de gravité des flottaisons isoca-

rènes θ_i et θ_{i+1} , on aura alors par le théorème des moments

$$\begin{aligned} D y_{i+1} &= D y_i + v_2 x_2 - v_1 x_1 + (c_i + \gamma_i) \delta_i D - (c_i + \gamma_{i+1}) \delta_{i+1} D, \\ \text{donc} \quad (y_{i+1} - y_i) D &= v_2 x_2 - v_1 x_1 + (c_i + \gamma_i) \delta_i D - (c_i + \gamma_{i+1}) \delta_{i+1} D. \end{aligned}$$

Il nous importe de calculer les projections du déplacement du centre de carène, c'est-à-dire les différences $y_{i+1} - y_i$ et $z_{i+1} - z_i$ qui sont indépendantes de la position de l'origine des coordonnées pourvu que les axes soient parallèles.

Supposons que l'on ait pris l'origine au point H_i , on aura alors

$$(y_{i+1} - y_i) D = v_2 (x_2 - c_i) - v_1 (x_1 - c_i) + \gamma_i \delta_i D - \gamma_{i+1} \delta_{i+1} D.$$

Les quantités $\delta_i D$ et γ_i, γ_{i+1} sont généralement très petites et leur produit bien au-dessous des limites de la précision du calcul (¹); on peut donc le négliger; on aura alors la formule

$$y_{i+1} - y_i = \frac{v_2 (x_2 - c_i) - v_1 (x_1 - c_i)}{D},$$

et de même

$$z_{i+1} - z_i = \frac{v_2 (\beta_2 - d_i) - v_1 (\beta_1 - d_i)}{D}.$$

On voit bien que le numérateur de ces formules représente la différence des moments des onglets, pris par rapport aux axes passant par le point H_i .

Il ne reste donc qu'à les calculer.

On voit aisément qu'en prenant, au lieu du moment de l'aire de chacun des triangles mixtes qui forment les sections des onglets, la demi-somme des moments des deux secteurs circulaires correspondants, on obtient une valeur *plus grande* que la vraie, et, en prenant les moments des triangles rectilignes correspondants, on aura pour le moment total de l'onglet une valeur *moindre* que la vraie, car pour presque toutes les sections, surtout pour celles du milieu qui sont les plus importantes, le côté courbe dudit triangle mixte est convexe, pour les formes habituelles des navires.

Ainsi, *en remplaçant pour le calcul des coordonnées des centres de carène les sections des onglets par la moyenne des deux secteurs circulaires correspondants, on aura une limite supérieure de la valeur de ces coordonnées. On en aura une limite inférieure en prenant au lieu de ladite section le triangle rectiligne correspondant.*

Il ne reste donc qu'à établir les deux groupes de formules qui se rapportent à ces suppositions.

Les rayons des secteurs circulaires par lesquels nous remplaçons les sections réelles des onglets sont, quand on passe du plan $H_{i-1} H_i$ au plan $H_i H_{i+1}$:

$$\begin{aligned} \text{Pour l'onglet immergent} & \dots\dots\dots a_i - r_i \quad \text{et} \quad a_{i+1} \\ \text{Pour l'onglet émergent} & \dots\dots\dots b_i + r_i \quad \text{et} \quad b_{i+1} \end{aligned}$$

(¹) En faisant le calcul numérique, on s'en convaincra immédiatement. Si dans quelques cas exceptionnels ce produit atteignait une valeur notable, il serait bien aisé d'en tenir compte

on a donc pour les moments desdits secteurs par rapport aux axes passant par le point H_i

$$\begin{aligned} M'_y &= \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} \int_0^{r_i - r_i} r^2 \cos \theta \, d\theta = \frac{1}{3} (a_i - r_i)^3 (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i), \\ M''_y &= - \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} \int_0^{b_i + r_i} r^2 \cos \theta \, d\theta = -\frac{1}{3} (b_i + r_i)^3 (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i) \end{aligned}$$

et le moment total sera

$$M_y = M'_y - M''_y = \frac{1}{3} [(a_i - r_i)^3 + (b_i + r_i)^3] (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i).$$

De même, le moment par rapport au plan des xy

$$M_z = \frac{1}{3} [(a_i - r_i)^3 + (b_i + r_i)^3] (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}).$$

De même, les moments des aires des secteurs décrits avec a_{i+1} et b_{i+1} comme rayons sont

$$\begin{aligned} M_y &= \frac{1}{3} (a_{i+1}^3 + b_{i+1}^3) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i), \\ M_z &= \frac{1}{3} (a_{i+1}^3 + b_{i+1}^3) (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}). \end{aligned}$$

En prenant la demi-somme des moments correspondants des secteurs et appli-

quant la formule de M. Tchebycheff pour calculer les intégrales $\int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} M_y \, dx$

et $\int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} M_z \, dx$, on obtiendra les expressions que voici pour la limite supérieure des moments des onglets

$$M_{i+1} = \frac{1}{2} (I_i + I_{i+1}) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i) + \frac{1}{2} \frac{L}{n} (q_i r_i^2 - Q_i r_i) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i)$$

et

$$N_{i+1} = \frac{1}{2} (I_i + I_{i+1}) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i) + \frac{1}{2} \frac{L}{n} (q_i r_i^2 - Q_i r_i) (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}),$$

où I_i et I_{i+1} désignent les quantités

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{1}{3} \frac{L}{n} \sum (a_i^3 + b_i^3), \\ I_{i+1} &= \frac{1}{3} \frac{L}{n} \sum (a_{i+1}^3 + b_{i+1}^3). \end{aligned}$$

Quant aux quantités q_i , Q_i , q_{i+1} , Q_{i+1} , r_i , leurs expressions sont données par les formules (13). Pour avoir les variations des coordonnées du centre de

carène, il faut diviser les valeurs de M_{i+1} et N_{i+1} par $D = \frac{2LTS}{nk}$.

On aura alors les formules suivantes

$$(14) \quad \begin{cases} y_{i+1} - y_i = \frac{1}{2} (\rho_i + \rho_{i+1}) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i) + \lambda_i (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i), \\ z_{i+1} - z_i = \frac{1}{2} (\rho_i + \rho_{i+1}) (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}) + \lambda_i (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}), \end{cases}$$

où l'on a posé

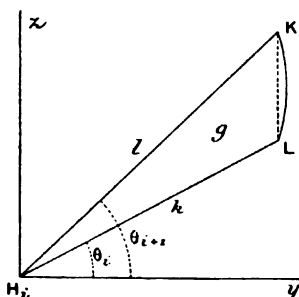
$$(15) \quad \begin{cases} \rho_i = \frac{I_i}{D} = \frac{k}{3} \frac{\sum (a_i^3 + b_i^3)}{2TS}, \\ \lambda_i = \frac{k}{2} \frac{(q_i \tau_i^2 - Q_i \tau_i)}{2TS}, \end{cases}$$

K étant le nombre des sections horizontales qui ont servi pour le calcul du déplacement D , T le tirant d'eau, S la somme de toutes les ordonnées que l'on a employées pour trouver le déplacement.

Maintenant nous allons établir les formules qui donnent une limite inférieure des valeurs des coordonnées des centres de carène.

Soient H_iKL (fig. 5) le triangle rectiligne par lequel nous remplaçons la

Fig. 5.



section de l'onglet, k , l ses côtés, g son centre de gravité. En menant par le point H_i les deux axes H_iy et H_iz parallèles aux axes des coordonnées, on a l'expression suivante du moment de l'aire du triangle H_iKL par rapport à l'axe H_iz :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{2} k l \sin(\theta_{i+1} - \theta_i) \frac{l \cos \theta_{i+1} + k \cos \theta_i}{3} \\ &= \frac{1}{6} (k^2 \cos \theta_{i+1} + k^2 l \cos \theta_i) \sin(\theta_{i+1} - \theta_i). \end{aligned}$$

Pour éviter les multiplications qu'exigerait le calcul des expressions k^2 et $k^2 l$ et pour profiter des tables des cubes des nombres, nous remarquerons que l'on a identiquement

$$(l+k)^3 + (l-k)^3 = 2l^3 + 6k^2 l;$$

les deux flottaisons étant voisines, le rapport $\frac{k}{l}$ est compris entre 0,9 et 1,1 alors $(l-k)^3$ est négligeable auprès de $(l+k)^3$ et l'on peut poser approximativement ⁽¹⁾

$$k^2 l = \frac{(l+k)^3}{6} - \frac{l^3}{3};$$

(¹) Par exemple, soient $k=10$, $l=11$, on a $k^2 l = 1100$ et $\frac{(l+k)^3}{6} - \frac{l^3}{3} = 1099,8$;

de même

$$k l^2 = \frac{(l+k)^3}{6} - \frac{k^3}{3}.$$

En faisant usage de ces deux formules, on obtient la valeur suivante du moment de l'aire du triangle

$$M = \frac{1}{36} [(k+l)^3 (\cos \theta_{i+1} + \cos \theta_i) - 2k^3 \cos \theta_{i+1} - 2l^3 \cos \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i).$$

En remarquant que le côté $k = a_i - \eta_i$ et $l = a_{i+1}$ pour l'onglet d'immersion et $k = b_i + \eta_i$ et $l = b_{i+1}$ pour l'onglet d'émergence, on voit que le moment total des deux triangles pour les deux onglets est

$$M = \frac{1}{36} \{ [(a_i + a_{i+1} - \eta_i)^3 + (b_i + b_{i+1} + \eta_i)^3] (\cos \theta_{i+1} + \cos \theta_i) - 2[(a_i - \eta_i)^3 + (b_i + \eta_i)^3] \cos \theta_{i+1} - 2(a_i^3 + b_{i+1}^3) \cos \theta_i \} \sin(\theta_{i+1} - \theta_i).$$

En faisant les réductions et remarquant que pour deux flottaisons voisines on peut poser approximativement

$$(b_i + b_{i+1})^3 - (a_i + a_{i+1})^3 = 2(b_i^3 - a_i^3) + 2(b_{i+1}^3 - a_{i+1}^3)$$

et, appliquant pour le calcul des intégrales la formule de M. Tchebycheff, on obtient les expressions suivantes, qui donnent une limite inférieure de la variation des coordonnées des centres de carène

$$(16) \quad y_{i+1} - y_i = \frac{1}{12} [(R_i - 2\rho_i) \cos \theta_{i+1} + (R_i - 2\rho_{i+1}) \cos \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i) + \frac{1}{12} (l_i \cos \theta_{i+1} + m_i \cos \theta_i) \sin(\theta_{i+1} - \theta_i)$$

et de même

$$(17) \quad z_{i+1} - z_i = \frac{1}{12} [(R_i - 2\rho_i) \sin \theta_{i+1} + (R_i - 2\rho_{i+1}) \sin \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i) + \frac{1}{12} (l_i \sin \theta_{i+1} + m_i \cos \theta_i) \sin(\theta_{i+1} - \theta_i),$$

où l'on a posé

$$(18) \quad \left\{ \begin{array}{l} R_i = \frac{k}{3} \frac{\sum [(a_i + b_i)^3 + (b_i + b_{i+1})^3]}{2TS}, \\ l_i = k \frac{(q_i - q_{i+1})\eta_i^2 - 2Q_i\eta_i}{2TS}, \\ m_i = k \frac{(q_i + q_{i+1})\eta_i^2 - 2(Q_i + Q_{i+1})\eta_i}{2TS}. \end{array} \right.$$

On voit que, pour avoir la limite inférieure, on n'a qu'à calculer une somme de plus (R_i) pour chaque inclinaison; le calcul des petites quantités l_i , m_i ne présente aucune difficulté; même, dans la plupart des cas, ces quantités seront tellement faibles par rapport à ρ_i et R_i que l'on pourra les négliger et,

$kl^2 = 1210$ et $\frac{(k+l)^3}{6} - \frac{k^3}{3} = 1210,2$, l'erreur ne porte que sur le cinquième chiffre; même si le rapport $\frac{k}{l}$ était compris entre 1,2 et 0,8 l'erreur ne porterait que sur le quatrième chiffre.

au lieu des formules (14) et (16), employer celles que voici :

$$(19) \quad \left\{ \begin{array}{l} y_{i+1} - y_i = \frac{1}{2} (\rho_i + \rho_{i+1}) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i) \\ z_{i+1} - z_i = \frac{1}{2} (\rho_i + \rho_{i+1}) (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}) \end{array} \right\} \text{ limite supérieure}$$

et pour la limite inférieure :

$$(20) \quad \left\{ \begin{array}{l} y_{i+1} - y_i = \frac{1}{12} [(R_i - 2\rho_i) \cos \theta_{i+1} + (R_i - 2\rho_{i+1}) \cos \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i), \\ z_{i+1} - z_i = \frac{1}{12} [(R_i - 2\rho_i) \sin \theta_{i+1} + (R_i - 2\rho_{i+1}) \sin \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i). \end{array} \right.$$

Les différences successives des coordonnées des centres de carènes étant calculées par les formules précédentes, on calcule ces coordonnées elles-mêmes, en prenant pour origine le centre C_0 de la carène droite. On aura alors

$$\begin{array}{ll} y_0 = 0, & z_0 = 0 \\ y_1 - y_0 = \dots, & z_1 - z_0 = \dots \\ y_2 - y_1 = \dots, & z_2 - z_1 = \dots \\ y_3 - y_2 = \dots, & z_3 - z_2 = \dots \\ \dots\dots\dots, & \dots\dots\dots \end{array}$$

Prenant les sommes successives on a les coordonnées $y_1, z_1, y_2, z_2, \dots$ des centres $C_1, C_2, \dots$ des carènes inclinées pour les angles $\theta_1, \theta_2, \dots$

Ces coordonnées étant calculées, on a la longueur des bras de levier correspondants par la formule

$$(21) \quad r_i = y_i \cos \theta_i + z_i \sin \theta_i.$$

Quant aux détails de ces calculs, nous renvoyons à l'exemple numérique.

Ces développements pourront paraître compliqués : cela provient de ce que nous avons tenu compte des termes des ordres supérieurs que l'on néglige généralement ; mais il faut bien distinguer entre le développement d'une formule et son emploi pour le calcul numérique.

Nous répéterons encore une fois que la formule des quadratures de M. Tchebycheff est également avantageuse pour le calcul de la stabilité par une méthode quelconque, et elle apporte partout la même simplification. Au lieu de vingt ordonnées, on peut en prendre sept ou neuf tout au plus, ce qui réduit le travail dans le même rapport et rachète bien le temps et la peine de tracer les sept ou neuf sections transversales auxiliaires.

Le calcul détaillé des moments de flexion du navire paraît avoir été exécuté pour la première fois par Sir E. Reed pour le *Bellérophon*, quoique Euler ait remporté, en l'an 1758, le prix de l'Académie des Sciences de Paris pour son Mémoire : *Examen des efforts qu'ont à supporter toutes les parties d'un vaisseau dans le roulis et le tangage* ⁽¹⁾. Ainsi tout un siècle s'est écoulé avant

(1) *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'Académie des Sciences de Paris*, t. VIII : 1759.

que l'on ait mis en pratique les idées développées par Euler dans ce Mémoire.

Reed, en faisant ses calculs, admet les hypothèses suivantes, dont on ne saurait indiquer la précision : 1° que le navire repose en équilibre sur la crête ou le creux d'une lame d'une longueur égale à celle du navire ; 2° que dans cette position le déplacement total du navire est le même que dans sa position naturelle ; 3° que la poussée pour chacune des portions du navire est égale au déplacement de cette portion et est dirigée verticalement.

On voit donc qu'un calcul basé sur de telles hypothèses n'est qu'une sorte de première approximation à la solution rigoureuse du problème. Pour une seconde approximation on devrait faire usage des lois du tangage sur mer houleuse et tenir compte des forces d'inertie. Quant à la solution *rigoureuse*, elle est trop compliquée pour qu'on ose même l'ébaucher.

Nous nous bornerons à la même approximation que celle de Reed, qui est admise par la pratique. Ainsi, avant tout, il s'agit « de placer le navire sur le creux ou la crête d'une lame. »

On propose quelquefois pour cette opération l'emploi des échelles Bonjean, mais nous montrerons qu'on n'a pas même besoin de savoir le déplacement d'un navire pour le placer sur la lame, l'opération n'exigeant tout au plus qu'un quart d'heure ; il faut seulement faire usage de la méthode des *approximations successives*, qui est, à ce qu'il paraît, très négligée dans la théorie du navire ; on préfère la méthode de l'interpolation graphique.

Ces deux méthodes ne s'excluent pas mutuellement, mais on peut facilement préciser les questions qui appartiennent à chacune d'elles. S'il s'agit de déterminer la valeur unique d'un seul paramètre ou un système unique des valeurs simultanées de plusieurs paramètres inconnus, autrement dit, s'il faut résoudre un système d'équations, c'est la méthode des approximations successives qui doit être employée. Si, au contraire, on a besoin d'étudier la marche d'un phénomène ou de déterminer toute une série de valeurs d'une fonction, c'est l'interpolation graphique.

Pour placer le navire sur la crête d'une lame, on procédera de la manière suivante : Ayant tracé le profil de la lame, on tire une ligne horizontale par le milieu de la hauteur de la lame et l'on relève sur une bande de papier à partir de la ligne du milieu, que l'on y marque, les ordonnées du profil de la lame correspondant aux k sections du navire distribuées d'après la règle de Tchebycheff. Il faut maintenant placer la ligne du milieu de la vague de telle manière que la somme des aires immergées des couples ne soit pas changée.

Nous allons donc chercher la distance de cette ligne à la flottaison en charge par la méthode des approximations successives. En supposant, à titre de première approximation, cette distance nulle, nous rapportons au moyen de notre bande de papier les ordonnées du profil de la lame sur le plan du maître couple, et l'on voit immédiatement les trapèzes émergées et immergées sur les couples. Pour calculer leurs aires, on relève les deux ordonnées

extrêmes de chacun de ces trapèzes et leur hauteur, et l'on a ainsi le Tableau suivant :

Première position. — Distance de la ligne du milieu à la flottaison $z = 0$.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Numéros de la section.	Hauteur du trapèze + immergé — émergé de la flottaison) h .	Base invariable des trapèzes (Somme des deux ordonnées de la flottaison) a .	Base variable des trapèzes (Somme des ordonnées aux points d'intersection avec la lame).	Demi-somme des bases $\frac{III + IV}{2}$.	Aires des trapèzes $V \times II$.
1 et 9.	$- h_1$	$a_1 + a_9$	$x_1 + x_9$	$\frac{a_1 + a_9 + x_1 + x_9}{2}$	$- h_1 \frac{a_1 \dots + x_9}{2}$
2 et 8.	$- h_2$	$a_2 + a_8$	$x_2 + x_8$	»	»
3 et 7.	h_3	$a_3 + a_7$	$x_3 + x_7$	»	»
4 et 6.	$+ h_4$	$a_4 + a_6$	$x_4 + x_6$	»	»
5	$+ h_5$	a_5	x_5	$\frac{a_5 + x_5}{2}$	$+ \frac{h_5}{2} (a_5 + x_5)$
			Sommes.....	S_1	$E_1 =$

Seconde approximation : $z_1 = \frac{E_1}{S_1}$.

On prend les sommes des deux dernières colonnes et l'on voit que pour rendre E (erreur sur les aires des couples) nulle, il faudrait relever ou abaisser, selon le signe de E , la ligne du milieu de la vague d'une quantité

$$z_1 = \frac{E_1}{S_1}.$$

On pose donc $z = z_1$; pour refaire le calcul, on n'a qu'à relever les nouvelles ordonnées a et l'on obtient une troisième approximation $z_2 = z_1 + \delta z_1$, qui, généralement, n'aura plus besoin d'être corrigée.

Avec un peu d'attention, on pourra placer pour la première fois la ligne du milieu de la vague, non sur la flottaison ($z = 0$), mais un peu plus bas, de telle manière qu'à l'œil les aires immergées soient égales à la somme des aires émergées; alors la seconde approximation donne une précision suffisante, c'est-à-dire que la troisième donne $\delta z_2 = 0$.

On voit bien la simplicité de ce procédé et la manière de l'employer si l'on fait usage de telle autre formule de quadrature que celle de Tchebycheff.

Connaissant ainsi la position du navire sur la lame, on construit la courbe des poussées pour laquelle on profitera des sommes des ordonnées de chaque couple que l'on a déjà obtenu en calculant le déplacement. Ces sommes étant proportionnelles aux aires des couples sur eau calme, c'est-à-dire aux ordonnées de la courbe des poussées pour la position naturelle du navire, on leur

ajoutera les corrections pour les trapèzes immergés ou submergés que le profil de la lame détermine sur chaque couple.

Le pas suivant, dans ce calcul, c'est la construction de la courbe des poids, par mètre courant de la longueur du navire.

On recommande de partager le navire en tranches de 3^m à 5^m de long et de calculer le poids de tout ce qui se trouve dans chacune de ces tranches, le rapport de ce poids à la longueur de la tranche donne l'ordonnée correspondante de la courbe cherchée. On obtient ainsi une ligne brisée discontinue composée de divers éléments tous parallèles à l'axe. On en régularise ensuite les aspérités à l'œil.

C'est bien ce procédé qui a fait penser que le calcul des moments de flexion est d'une longueur interminable. Il n'en est rien cependant; il faut seulement faire le calcul d'une manière plus rationnelle.

Pour cela, on remarquera que tous les poids qui sont portés par le navire sont distribués fort irrégulièrement, surtout si on les rapporte au mètre courant; ainsi les poids des quilles, des carlingues, des lisses et d'autres liaisons longitudinales, sont distribués presque uniformément sur toute la longueur, tandis qu'une traverse blindée, dont le poids atteint plus d'une centaine de tonnes, est concentrée sur une longueur égale à l'épaisseur du blindage, c'est-à-dire une trentaine de centimètres. Donc on ne doit pas même tâcher de représenter la distribution de *tous* les poids par une courbe continue, il faut auparavant les classer convenablement.

Nous ferons ce classement de la manière suivante :

1. *Poids continus*. — Ce sont ceux qui sont distribués d'une manière uniforme ou continue sur toute ou presque toute la longueur du navire; tels sont : les poids des liaisons longitudinales, du bordé avec sa membrure, des ponts, du blindage des bords, du blindage des ponts, etc.

2. *Poids locaux ou discontinus*. — Ce sont tous les poids qui sont distribués d'une manière uniforme ou continue sur une longueur restreinte et qui n'ont aucune liaison ou dépendance mutuelle; tels sont : les chaudières, le charbon, la machine, les vivres, les munitions, les casemates blindées, etc.

3. *Poids concentrés*. — Ce sont les poids d'une valeur considérable qui n'occupent qu'une étendue fort restreinte dans le sens de la longueur du navire, en sorte que l'ordonnée de la courbe des charges qui leur correspondrait dépasserait de beaucoup toutes les autres; tels sont : les poids des traverses blindées, de l'étambot, des grosses pièces de l'artillerie, etc.

La nécessité d'un tel classement deviendra évidente, après l'explication de la manière de construire la courbe des poids et des charges effectives.

En effet, on ne saurait représenter par une courbe continue que les poids de la première classe et, pour le faire, on n'a évidemment besoin que de calculer un nombre peu considérable de ses ordonnées. On fera donc cinq ou six sections du navire et, le devis de construction à la main, on calcule les poids par mètre courant de toutes les liaisons longitudinales à la section

correspondante, on les porte comme ordonnées de la première courbe partielle, qui sera bien continue, même presque une droite parallèle à l'axe des abscisses. On fera de même pour le bordé en lui adjoignant la membrure, et l'on portera les valeurs obtenues comme ordonnées de la première courbe partielle, qui représente la distribution des poids des liaisons longitudinales, on passe ensuite aux ponts, etc., et aux courbes partielles correspondant aux poids n'occupant qu'une partie de la longueur totale, en ayant soin de porter les ordonnées de chaque courbe à partir de la précédente. Le contour extérieur de la ligne ainsi obtenu sera une courbe à peu près continue que l'on tracera aisément.

Pour les poids de la seconde classe, on ne saurait obtenir une courbe continue, par le caractère même de leur distribution. Ce sera une ligne discontinue, que l'on construira à part, composée de plusieurs courbes continues disposées, pour ainsi dire, en échelons. Le calcul de chaque courbe partielle se fait immédiatement, si l'on connaît tous les poids comme ceux des chaudières, de la machine, du charbon, etc., et l'espace qu'ils occupent dans le sens de la longueur du navire.

Les poids de la troisième classe ne peuvent pas être figurés sur le dessin : on les comptera donc pour des forces extérieures appliquées aux points correspondants.

Pour avoir la courbe des charges effectives, on commence par retrancher des ordonnées de la courbe des poussées celles de la courbe des poids continus. Si l'on rapproche la courbe que l'on obtient ainsi de la ligne brisée échelonnée qui représente la distribution des autres poids, on construit en prenant la différence des ordonnées correspondantes une nouvelle ligne, qui sera aussi composée de plusieurs parties courbes disposées en échelons : c'est la courbe des charges effectives.

Cette courbe étant construite, son intégration donne la courbe des efforts tranchants. En construisant cette dernière, on aura soin d'ajouter aux points correspondants les forces extérieures qui représentent les poids des traverses, etc., non figurés sur la courbe des charges. Chacun de ces poids produit un saut brusque dans la courbe des efforts tranchants, la différence des deux ordonnées correspondant à une même abscisse étant égale à la force extérieure considérée.

Si l'on a bien calculé tous les poids, la courbe des efforts tranchants devra se fermer d'elle-même, c'est-à-dire que ses deux ordonnées extrêmes sont nulles.

Une intégration de la courbe des efforts tranchants donne la courbe des moments de flexion qui ne présentera aucune discontinuité dans ses ordonnées, mais aura des points anguleux aux abscisses où sa dérivée présente des sauts.

Cette courbe devrait aussi se fermer d'elle-même, mais généralement ce ne sera pas le cas, car, en plaçant le navire sur la lame, nous n'avons con-

servé que le déplacement, ne prêtant aucune attention à la position du centre de carène, qui ne se trouvera pas sur la verticale du centre de gravité. Donc tout le navire sera soumis à l'action d'un couple. L'ordonnée extrême de la courbe des moments en donne la mesure.

La correction est très simple ; on n'a qu'à tirer la droite joignant le point A sur l'axe où la courbe commence à l'extrémité C de sa dernière ordonnée, et pour avoir les moments de flexion on mesurera les ordonnées, non à partir de l'axe AB, mais à partir de l'axe AC. En effet, on pourrait compenser ledit couple extérieur soit par une inclinaison du navire, ce qui changerait la courbe des poussées, soit par le transport d'un poids convenable d'une extrémité du navire à l'autre. La droite AC représente la variation des moments, qui provient d'un tel transport de poids. Ce poids sera généralement faible (une vingtaine de tonnes pour un bâtiment de 10000 tonneaux) et le but du calcul étant de vérifier que les liaisons suffisent, le déplacement d'un pareil poids n'affectera pas d'une manière sensible la solidité du navire.

Si l'on voulait changer la courbe des poussées, on prendrait la projection horizontale de la section déterminée par la surface de la lame dans le navire, soit $y_0, y_1, \dots, y_k$ ses ordonnées correspondant aux abscisses $x_0, x_1, \dots, x_k$. On construira la courbe dont les ordonnées sont $x_0y_0, x_1y_1, x_2y_2, \dots, x_ky_k$; une double intégration de cette courbe fournira les nombres proportionnels aux moments de la variation des poussées, correspondant à un changement infiniment petit de l'assiette du navire sur la lame. On réduira les ordonnées ainsi obtenues dans le rapport $\frac{BC}{y}$, BC étant l'ordonnée

extrême de la courbe des moments de flexion et y celle de la courbe que l'on vient de construire, et l'on substituera la courbe ainsi réduite à la droite AC.

On opérerait de même dans le cas du navire placé dans le creux de la houle.

Connaissant les moments de flexion et les efforts tranchants, on fera les vérifications connues des efforts que le matériel est appelé à supporter.

En disposant les calculs comme nous venons de l'indiquer, on verra qu'ils ne présentent en aucune sorte la longueur rebutante des méthodes usuelles.

En terminant cet article, je me fais un agréable devoir d'adresser mes remerciements les plus sincères à MM. Pollard et Dudebout qui, ayant pris connaissance en manuscrit de ma Note, m'ont fait l'honneur d'en donner un résumé dans leur grand *Traité*, et m'ont indiqué quelques erreurs importantes à corriger.

APPENDICE.

La manière d'établir la formule des quadratures de M. Tchebycheff ne se trouvant pas dans les *Traité*s classiques de Calcul intégral, nous pensons qu'il ne serait pas inutile d'en donner ici une démonstration élémentaire que nous emprunterons en substance au *Traité du Calcul intégral* de M. Alexeieff (en russe).

Soit

$$S = \int_a^b f(z) dz$$

une intégrale définie quelconque; on peut toujours, en posant

$$z = \frac{a+b}{2} + \frac{a-b}{2} x,$$

réduire cette intégrale à une autre dont les limites soient -1 et $+1$; nous ne considérerons donc que les intégrales de la forme

$$S = \int_{-1}^{+1} f(x) dx.$$

Toutes les formules que l'on emploie pour le calcul approximatif de ces intégrales sont comprises dans celle-ci :

$$S = \int_{-1}^{+1} f(x) dx = \sum_{i=1}^{i=k} A_i f(x_i).$$

La question revient donc à la recherche des valeurs convenables des coefficients A_k et des abscisses x_k . On a ainsi $2k$ quantités arbitraires; on peut en disposer de différentes manières.

Si l'on voulait, avec un nombre donné k des ordonnées, avoir la plus grande précision possible, on devrait considérer comme inconnues les abscisses $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, et les coefficients $A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$, et l'on arriverait à la formule de Gauss.

Si l'on supposait toutes les ordonnées $f(x_k)$ équidistantes, les x_k seraient connus; il ne resterait que les A_m à déterminer et l'on obtiendrait la règle de Cotes.

Mais on peut inversement se donner les coefficients et déterminer les abscisses correspondantes. C'est ainsi que la question fut posée par M. Tchebycheff, qui prend tous les coefficients égaux entre eux

$$A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_k = A.$$

Soit

$$F(x) = x^k + p_1 x^{k-1} + p_2 x^{k-2} + \dots + p_k = 0$$

cette équation, nous allons chercher ses coefficients $p_1, p_2, \dots, p_k$. En désignant par $s_1, s_2, s_3, \dots, s_k$ les sommes des puissances semblables des racines de l'équation $F(x) = 0$, on a les formules suivantes de Newton pour déterminer les coefficients

$$\begin{aligned} s_1 + p_1 &= 0, \\ s_2 + p_1 s_1 + 2p_2 &= 0, \\ s_3 + p_1 s_2 + p_2 s_1 + 3p_3 &= 0, \\ s_4 + p_1 s_3 + p_2 s_2 + p_3 s_1 + 4p_4 &= 0, \\ &\dots\dots\dots; \end{aligned}$$

en substituant au lieu des $s_1, s_2, s_3, \dots$ leurs valeurs

$$\begin{aligned} s_1 = s_2 = s_3 = \dots = s_{2i} &= 0, \\ s_3 = \frac{k}{3}, \quad s_4 = \frac{k}{5}, \quad s_5 = \frac{k}{7}, \quad \dots, \quad s_{2i} &= \frac{k}{2i+1}; \end{aligned}$$

on a pour déterminer $p_1, p_2, \dots, p_k$ les équations suivantes

$$\begin{aligned} p_1 &= 0, \\ \frac{k}{3} + 2p_2 &= 0, \\ p_3 &= 0, \\ \frac{k}{5} + \frac{k}{3} p_2 + 4p_4 &= 0, \\ p_5 &= 0, \\ \frac{k}{7} + \frac{k}{5} p_2 + \frac{k}{3} p_3 + 6p_6 &= 0, \\ p_7 &= 0, \\ &\dots\dots\dots, \end{aligned}$$

dont la loi de formation est évidente.

Donnant à k successivement les valeurs

$$2, 3, 4, 5, 6, 7, 9$$

et déterminant les valeurs de p correspondantes, on aura les équations suivantes pour calculer les abscisses,

$$\begin{aligned} k=2 \dots\dots\dots x^2 - \frac{1}{3} &= 0, \\ k=3 \dots\dots\dots x^3 - \frac{x}{2} &= 0, \\ k=4 \dots\dots\dots x^4 - \frac{2}{3} x^2 + \frac{1}{45} &= 0, \\ k=5 \dots\dots\dots x^5 - \frac{5}{6} x^3 + \frac{7}{72} x &= 0, \\ k=6 \dots\dots\dots x^6 - x^4 + \frac{1}{5} x^2 - \frac{1}{105} &= 0, \end{aligned}$$

$$k = 7 \dots\dots\dots x^7 - \frac{7}{6}x^5 + \frac{119}{360}x^3 - \frac{149}{6480}x = 0,$$

$$k = 9 \dots\dots\dots x^9 - \frac{3}{2}x^7 + \frac{27}{40}x^5 - \frac{57}{560}x^3 + \frac{53}{22400}x = 0.$$

Nous n'avons pas écrit l'équation pour $k = 8$, car elle a des racines imaginaires qui ne nous conviennent pas.

En résolvant ces équations, on aura le Tableau suivant :

Valeurs des abscisses pour la formule de M. Tchebycheff.

Nombre des ordonnées.	Abscisses (les limites de l'intégrale étant +1 et -1).
$k = 2 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_2 = 0,577350$
$k = 3 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_3 = 0,707107$ $x_2 = 0$
$k = 4 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_4 = 0,794654$ $x_2 = -x_3 = 0,187592$
$k = 5 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_5 = 0,832498$ $x_2 = -x_4 = 0,374541$ $x_3 = 0$
$k = 6 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_6 = 0,866247$ $x_2 = -x_5 = 0,422519$ $x_3 = -x_4 = 0,266635$
$k = 7 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_7 = 0,883862$ $x_2 = -x_6 = 0,529657$ $x_3 = -x_5 = 0,323912$ $x_4 = 0$
$k = 9 \dots\dots\dots$	$x_1 = -x_9 = 0,911589$ $x_2 = -x_8 = 0,601019$ $x_3 = -x_7 = 0,528762$ $x_4 = -x_6 = 0,167906$ $x_5 = 0$

Ainsi la formule de M. Tchebycheff est

$$\int_{-1}^{+1} f(x) dx = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^{i=k} f(x_i).$$

Si les limites de l'intégrale étaient $+\frac{L}{2}$ et $-\frac{L}{2}$, on aurait

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} f(x) dx = \frac{L}{2} \int_{-1}^{+1} f\left(\frac{Lz}{2}\right) dz;$$

appliquant à la dernière intégrale la formule de M. Tchebycheff, on aura

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} f(x) dx = \frac{L}{k} \sum_{i=1}^{i=k} f(x_i).$$

On a ainsi la règle suivante : Pour trouver l'aire d'une courbe, on mesure les ordonnées correspondant aux abscisses de M. Tchebycheff, et l'on multiplie la moyenne arithmétique de ces ordonnées par la longueur de la base.

On trouvera l'exposition originale de la méthode par son illustre auteur dans le *Mémoire : Sur les quadratures (Journal de Liouville, 1874)*. On trouvera aussi l'exposition de la méthode de Tchebycheff, ainsi que de toutes les autres méthodes des quadratures dans le *Mémoire de M. Radau : Étude sur les formules d'approximation qui servent à calculer la valeur numérique d'une intégrale définie (Journal de Liouville, 1880)*. C'est dans ce dernier *Mémoire* que nous avons pris la Table des valeurs des abscisses.

Pour montrer la précision de la formule de M. Tchebycheff, dans ses applications aux calculs des éléments d'un navire, je prends quelques exemples. La maîtresse section d'un certain navire a pour équation

$$y = a \frac{1 - \left(\frac{z+h}{1+h}\right)^2}{1 + n \left(\frac{z+h}{1+h}\right)^2},$$

le tirant d'eau étant pris = 1, l'axe des z étant vertical dirigé en bas, l'origine des coordonnées se trouvant à l'intersection de la flottaison avec le plan longitudinal. Les paramètres ont les valeurs suivantes

$$h = -0,0584, \quad n = -0,5346,$$

la valeur de a , demi-largeur, étant indifférente ($a = 1,4603$).

Avec ces données, on calcule aisément le rapport de l'aire de la maîtresse section à celle du rectangle circonscrit, soit par la formule rectangle que voici

$$\begin{aligned} \frac{S}{a} &= \frac{1}{a} \int_0^1 \frac{1 - \left(\frac{z+h}{1+h}\right)^2}{1 + n \left(\frac{z+h}{1+h}\right)^2} dz \\ &= \left(1 + \frac{1}{n}\right) \frac{k(h+1)}{3} \left[\frac{1}{2} \log \frac{1+k^2}{1-k+k^2} - \frac{1}{2} \log \frac{\left(\frac{h}{h+1} + k\right)^2}{\left(\frac{h}{h+1}\right)^2 - \frac{kh}{h+1} + k^2} \right. \\ &\quad \left. + \sqrt{3} \operatorname{arc tang} \frac{\sqrt{3}}{2k-1} - \sqrt{3} \operatorname{arc tang} \frac{h\sqrt{3}}{2k(h+1)-h} \right] - \frac{1}{n}, \end{aligned}$$

où l'on a posé

$$k = \sqrt[3]{\frac{1}{n}},$$

soit par une formule approximative, en prenant tel ou tel nombre d'ordonnées, qui seront toutes calculées par l'équation de la courbe, en sorte qu'on sera indépendant des imperfections du dessin.

On obtiendra par ces calculs :

Valeur exacte de.....	$\frac{S}{a} = 0,83512$
Valeur calculée par la formule de Tchebycheff en prenant sept ordonnées.....	$\frac{S}{a} = 0,83543$
Valeur calculée par la formule de Tchebycheff en prenant cinq ordonnées.....	$\frac{S}{a} = 0,83476$
Valeur calculée par la formule de Simpson en prenant huit ordonnées.....	$\frac{S}{a} = 0,83415$

Pour que l'on puisse juger de la forme de la courbe, nous donnons les rapports $\frac{y}{a}$ pour les huit abscisses équidistantes :

$z = 0$	$\frac{y}{a} = 1$	$z = \frac{5}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,8853$
$z = \frac{1}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,9998$	$z = \frac{6}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,7660$
$z = \frac{2}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,9959$	$z = \frac{7}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,5351$
$z = \frac{3}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,98205$	$z = 1$	$y = 0$
$z = \frac{4}{8}$	$\frac{y}{a} = 0,9492$		

Des calculs pareils pour un des couples typiques de l'arrière (ce couple est à $\frac{1}{3}$ de la demi-longueur du navire à partir du perpendiculaire R), dont l'équation est

$$\frac{y}{a} = \frac{1 - z^3}{1 + n z^3}, \quad n = 2,8927,$$

donnent les résultats suivants

$$\frac{S}{a} = \frac{1}{a} \int y \, dz = \left(1 + \frac{1}{n}\right) \frac{k}{3} \left(\frac{1}{2} \log \frac{1+k^2}{1-k+k^2} + \sqrt{3} \operatorname{arc} \operatorname{tang} \frac{\sqrt{3}}{2k-1} \right) - \frac{1}{n},$$

où

$$k = \sqrt[3]{\frac{1}{n}},$$

et la valeur exacte de l'intégrale est

$$\frac{S}{a} = 0,5903.$$

En la calculant par la formule de Tchebycheff et prenant 7 ordonnées, on obtient 0,5904; la formule de Simpson avec 10 ordonnées donne 0,5914 et, avec 8 ordonnées, 0,5942.

Pour que l'on puisse aisément tracer la forme de ce couple, je donne les valeurs des rapports $\frac{\gamma}{a}$ pour les 10 ordonnées équidistantes :

z .	$\frac{\gamma}{a}$.	z .	$\frac{\gamma}{a}$.
0	1,00000	0,6	0,48250
0,1	0,99613	0,7	0,32982
0,2	0,96955	0,8	0,19670
0,3	0,89722	0,9	0,08720
0,4	0,78980	1,0	0,00000
0,5	0,65660		

$$a = 1,1872.$$

Le tirant d'eau $T = 1$.

De même pour la flottaison en charge du même navire dont la partie N a pour équation

$$y = a \frac{1 - \left(\frac{x}{L}\right)^3}{1 - u \left(\frac{x}{L}\right)^3}; \quad \log u = \bar{1},40115,$$

et dont la partie R a la même équation, mais avec les valeurs suivantes des paramètres

$$\log u_1 = \bar{1},58616 \quad \text{et} \quad L_1 = L(1 + \Delta); \quad \log(1 + \Delta) = 0,020493,$$

on obtient les résultats suivants :

Valeur exacte de l'aire totale 0,80662 du rectangle

La formule de Tchebycheff donne :

Avec 14 ordonnées (7 pour N , 7 pour R)	0,80664
Avec 9 ordonnées	0,80638
Avec 7 ordonnées	0,80756
Formule de Simpson (21 ordonnées)	0,80642
Formule des trapèzes (21 ordonnées)	0,80334
Formule des trapèzes avec 21 ordonnées principales et 3 intercalaires sur l' N et 3 sur l' R (abscisse : 0,75; 0,85; 0,95)	0,80665

Les valeurs des ordonnées sont les suivantes :

Partie R .		Partie N .	
x	1,00000	x	1,00000
0,1 L	0,99948	0,1 L	0,99926
0,2	0,99573	0,2	0,99401
0,3	0,98549	0,3	0,97965
0,4	0,96514	0,4	0,95128
0,5	0,93042	0,5	0,90116
0,6	0,87583	0,6	0,82911
0,7	0,79336	0,7	0,71914
0,75	0,73802	0,75	0,64686
0,8	0,67049	0,8	0,56025
0,85	0,58775	0,85	0,45647
0,9	0,48579	0,9	0,33195
0,95	0,35877	0,95	0,18193
1,0	0,19841	1,0	0,00000
(1 + Δ) L	0,00000		

Ces exemples suffisent pour juger de la précision de la formule de M. Tchebycheff.

APPENDICE II. — Exemples numériques.

En guise d'exemple, nous appliquerons nos méthodes au calcul des éléments d'un vaisseau type *Trafalgar*. Mais, n'ayant pas à notre disposition des dessins à échelle métrique, nous avons pris les plans des formes d'un navire au $\frac{1}{18}$, et pour ne pas embrouiller les lecteurs français avec les pieds et les pouces, nous supposons que le dessin soit au $\frac{1}{180}$ et nous faisons le calcul dans cette supposition en employant la mesure métrique.

I. — Calcul du déplacement.

Longueur du navire $L = 106^m,83$; tirant d'eau $T = 7^m,94$.

Numéros des sections hori- zontales.	Numéros des sections verticales.	Partie A.				x $x_5 = 0.$	Partie N.				Sommes des lignes.
		9 $y_9 = 48^m, 70.$ y_9	8 $y_8 = 32^m, 11.$ y_8	7 $y_7 = 28^m, 25.$ y_7	6 $y_6 = 8^m, 97.$ y_6		4 $x_4 = 8^m, 97.$ x_4	3 $x_3 = 28^m, 25.$ x_3	2 $x_2 = 32^m, 11.$ x_2	1 $x_1 = 48^m, 70.$ x_1	
I...	$z_1 = 3,51$	7,80	17,52	18,68	21,10	21,20	21,00	16,50	14,50	3,25	141,55
II...	$z_2 = 2,10$	4,75	16,60	18,10	21,05	21,20	20,95	16,15	14,10	3,09	135,99
III..	$z_3 = 1,29$	3,00	15,70	17,40	20,90	21,15	20,80	15,80	13,70	2,90	131,35
IV..	$z_4 = 0$	1,45	13,35	15,65	20,40	20,70	20,28	14,95	12,85	2,55	122,18
V...	$z_5 = -1,29$	0,75	9,70	12,40	19,20	19,60	19,05	13,30	11,10	1,90	107,00
VI..	$z_6 = -2,10$	0,50	6,90	9,50	17,60	18,20	17,55	11,50	9,50	1,45	92,70
VII..	$z_7 = -3,51$	0,40	2,00	3,00	8,90	10,10	9,60	5,10	3,90	0,50	43,50
Sommes des colonnes.		18,65	81,77	94,73	129,15	132,15	129,23	93,30	79,65	15,64	$S = 774,27$

$$\text{Déplacement } D = \frac{2 \cdot L \cdot T \cdot S}{9 \cdot 7} = \frac{2 \cdot 106,83 \cdot 7,94 \cdot 774,27}{9 \cdot 7} = 10450^m.$$

Remarque. — Toutes les ordonnées sont relevées en centimètres du dessin; ainsi 7,80 veut dire que l'ordonnée $y_9 = 7^m,80$ sur le dessin $= 3^m,90$, grandeur naturelle, car l'échelle du dessin est $\frac{1}{180}$. Il est bien plus simple de réduire le résultat final que chaque ordonnée. C'est de là que vient le facteur $\frac{1}{2}$ dans la formule du déplacement.

II. — Calcul de la position du centre de carène C_0 .

Distance de C_0 à la flottaison.

Sommes des ordonnées des sections supérieures.....	141,55	135,99	131,35
Sommes des ordonnées des sections inférieures.....	43,50	92,70	107,00
Différence.....	98,05	43,29	24,35
z	3,51	2,10	1,29
Produits des différences par z	344,2	91,9	31,4

Somme des produits = $M = 467,5$.

Distance de C_0 à la ligne d'eau IV :

$$z_0 = \frac{M}{S} = \frac{467,5}{774,27} = 0^m,604.$$

Distance à la flottaison h_0 :

$$h_0 = \frac{T}{2} - z_0 = 3,97 - 0,60 = 3^m,37.$$

Distance de C_0 au maître-couple.

Sommes des ordonnées des couples R ...	18,65	81,77	94,73	129,15
Sommes des ordonnées des couples A' ...	15,64	79,65	93,30	129,23
Différences....	3,01	2,12	1,43	—0,08
x	48,70	32,11	28,25	8,97
Produits des différences par x	144,7	68,1	40,4	—0,7

Somme des produits $N = 254,5$.

Abscisse de C_0 :

$$x_0 = \frac{N}{S} = \frac{254,5}{774,27} = 0^m,33 \text{ à l}'R \text{ du milieu.}$$

III. — Calcul de la hauteur des métacentres principaux.

Hauteur du petit métacentre au-dessus de C_0 .

Numéros des sections.	Ordonnées de la flottaison a .	Cubes des ordonnées a^3 .
1...	3,28	35
2...	14,57	3093
3...	16,56	4541
4...	20,09	8108
5...	21,20	9528
6...	21,12	9421
7...	18,75	6592
8...	17,70	5545
9...	8,70	659

Somme... 47522

Hauteur du petit métacentre :

$$\begin{aligned} \rho_0 &= \frac{\sum a^3}{3 \cdot TS} \\ &= \frac{7}{3} \frac{47522}{7,94 \cdot 774,27} \frac{1}{4}^{(1)} \\ &= 4^m,51. \end{aligned}$$

Hauteur du grand métacentre au-dessus de C_0 .

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Numéros des sections.	Ordonnées a .	Sommes des ordonnées correspondantes.	$\log II$.	$2 \log x$.	$\log ax^2$.
1 et 9..	11,98	1,0785	3,3749	4,4534	28410
2 et 8..	32,27	1,5088	3,0133	4,5221	33270
3 et 7..	35,31	1,5479	2,9019	4,4498	28170
4 et 6..	41,21	1,6150	1,9056	3,5206	3316
				Somme..	93166

Hauteur du grand métacentre :

$$H = \frac{\sum ax^2}{TS} = \frac{7 \cdot 93166}{7,94 \cdot 774,27} = 106^m,1.$$

(1) Le facteur $\frac{1}{4}$ vient de ce que les ordonnées a sont relevées en centimètres du dessin; donc, pour les réduire en mètres, l'échelle étant $\frac{1}{25}$, il faut les diviser par 2; donc leurs cubes par 8. Mais S étant aussi en centimètres, il faudrait le diviser par 2. Donc en tout il faut diviser par 4 pour avoir ρ , en mètres.

CALCUL DE LA STABILITÉ.

Premier plan auxiliaire OH₁, inclinaison $\theta_1 = 10^\circ = 0,1745$.

Numéro de la section	Or- données	Or- données						
	immer- de la gentes. a_1 .	émer- gentes. b_1 .	$a_1 = b_1$.	$a_1 - b_1$.	$(a_1 + b_1)$ $(a_1 - b_1)$ $= a_1^2 - b_1^2$.	a_1^2 .	b_1^2 .	
1..	3,35	3,30	6,65	+0,05	+ 0,3	38	36	
2..	15,00	14,50	29,50	+0,50	+ 14,8	3375	3049	
3..	17,00	16,60	33,60	+0,40	+ 13,4	4913	4574	
4..	21,15	21,30	42,45	-0,15	- 4,5	9461	9664	
5..	21,40	21,50	42,90	-0,10	- 4,3	9800	9938	
6..	21,20	21,30	42,50	-0,10	- 4,2	9528	9664	
7..	19,20	18,50	37,70	+0,70	+ 26,4	7078	6332	
8..	18,25	17,10	35,35	+1,15	+ 40,6	6078	5000	
9..	9,90	7,50	17,40	+2,40	+ 41,8	970	422	
Sommes...			$q_1 = 288,5$	$Q_1 = \begin{cases} +137,3 \\ - 13,0 \end{cases}$		51241	48679	
						124,3	51241	
						$99920 = \Sigma(a_1^2 + b_1^2)$		

$$e_1 = \frac{1}{2} \frac{Q_1}{q_1} = \frac{1}{2} \frac{124,3}{288,5} = 0,21.$$

$$p_1 = \frac{1}{2} e_1 \theta_1 = \frac{1}{2} 0,21 \cdot 0,1745 = 0,017.$$

Deuxième plan auxiliaire H₁ H₂; inclinaison $\theta_2 = 18^\circ,5$ (immersion du pont supérieur).

$$\eta_1 = e_1 + \frac{1}{2} e_1 \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1} + \frac{\theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \right) = 0,21 + \frac{1}{2} 0,21 \left(\frac{8,5}{10} + \frac{10}{8,5} \right) = 0,42.$$

Numéro	a_2 .	b_2 .	$a_2 + b_2$.	$a_2 - b_2$.	$a_2^2 - b_2^2$.	a_2^2 .	b_2^2 .
1.	3,0	3,4	6,4	-0,4	- 2,6	27	39
2.	15,3	15,1	30,4	+0,2	+ 6,1	3582	3443
3.	17,2	17,2	34,4	-0,0	- 0,0	5088	5088
4.	21,2	22,1	43,3	-0,9	- 38,9	9528	10794
5.	21,4	22,5	43,9	-1,0	- 48,3	9800	11391
6.	21,3	22,2	43,5	-0,9	- 39,2	9664	10941
7.	19,4	18,5	37,9	+0,9	+ 34,1	7301	6332
8.	18,5	17,0	35,5	+1,5	+ 53,3	6332	4913
9.	10,3	7,3	17,6	+3,0	+ 52,8	1093	389
$q_2 = 292,8$				$\left\{ \begin{array}{l} +146,3 \\ -129,0 \end{array} \right.$	52415	53330	
						52415	
				$Q_2 = + 17,3$		$105745 = \Sigma(a_2^2 + b_2^2)$.	

$$e_2 = \frac{1}{2} \frac{Q_2}{q_2} = \frac{1}{2} \frac{17,3}{292,8} = 0,030.$$

$$p_2 = p_1 \frac{q_1}{q_2} + \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) \left(e_2 + e_1 \frac{q_1}{q_2} - r_1 \frac{q_1}{q_2} \right) = 0,004.$$

Troisième plan auxiliaire H_2H_3 . Inclinaison $\theta_3 = 24^\circ, 5$; $\theta_3 - \theta_2 = 6^\circ = 0,1047$.

$$\begin{aligned} r_2 &= e_2 \left(1 + \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \right) + \frac{p_2}{\theta_3 - \theta_2} + \frac{p_1 - p_2}{\theta_2 - \theta_1} \frac{\theta_3 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \\ &= 0,03 \left(1 + \frac{6}{8,5} \right) + \frac{0,004}{0,105} + \frac{+0,013}{0,147} \frac{6}{8,5} \\ &= 0,051 + 0,038 - 0,062 = +0,151. \end{aligned}$$

Numéros.	a_1	b_1	$a_1 + b_1$	$a_1 - b_1$	$a_1^2 - b_1^2$	a_1^2	b_1^2
1.	3,2	4,0	7,2	-0,8	- 5,8	33	64
2.	16,1	15,3	31,4	+0,8	+ 25,1	4173	3582
3.	17,1	17,3	34,4	-0,2	- 6,9	5000	5177
4.	17,1	22,2	39,3	-5,1	-200,4	5000	10941
5.	17,1	22,6	39,7	-5,5	-218,4	5000	11543
6.	17,1	22,3	39,4	-5,2	-204,9	5000	11090
7.	17,1	18,1	35,2	-1,0	- 35,2	5000	5930
8.	17,1	16,4	33,5	+0,7	+ 23,4	5000	4411
9.	10,9	6,9	17,8	+4,0	+ 71,2	1295	329
			277,9		+119,7	35501	53167
Corrections.....		13,1			+519,4		35501
					-671,6	Correct.	15720
			$q_3 = 291,0$	$Q_3 = - 32,5$			$104388 = \Sigma(a_3^2 + b_3^2)$

$$e_3 = \frac{1}{2} \frac{Q_3}{q_3} = -\frac{1}{2} \frac{32,5}{291,0} = -0,056$$

$$p_3 = p_2 \frac{q_2}{q_3} + \frac{1}{2}(\theta_3 - \theta_2) \left(e_3 + e_2 \frac{q_2}{q_3} - r_2 \frac{q_2}{q_3} \right) = -0,005.$$

Remarque. — Une casemate dont la longueur est 0,3 de celle du vaisseau en occupe la partie centrale. Les ordonnées a_3 sont relevées jusqu'à l'intersection du plan auxiliaire avec le pont supérieur du navire hors casemate. L'ordonnée immergente de la casemate, comptée à partir de l'intersection de notre plan avec ledit pont, est égale à 4,8, la distance de son milieu au point H_2 est égale à 20, donc le moment de la section de la casemate par le plan auxiliaire est 4,8.20.0,3L. Mais nous représentons ce moment par $\frac{1}{2} \frac{L}{9} Q_3$; donc, pour avoir Q_3 , il faut ajouter à $\Sigma(a_3^2 - b_3^2)$ la quantité 4,8.20.0,3.2.9 = 519,4.

De même, pour avoir l'aire totale de la section du vaisseau par notre plan, il faut ajouter à $\Sigma(a_3 + b_3)$ la quantité 4,8.0,3.9 = 13,1. Et pour le moment d'inertie, on doit ajouter à $\Sigma(a_3^2 + b_3^2)$ la quantité 4,8.0,3.(20)².9.3 = 15720. On établira aisément la formule générale de ces corrections.

Quatrième plan auxiliaire H_3H_4 . Inclinaison $\theta_4 = 31^\circ$ (Immersion du plan de la casemate).

$$(\theta_4 - \theta_3) = 6^\circ, 5 = D, 1134.$$

$$\begin{aligned} \tau_3 &= e_3 \left(1 + \frac{\theta_4 - \theta_3}{\theta_3 - \theta_2} \right) + \frac{p_3}{\theta_4 - \theta_3} + \frac{p_2 - p_3}{\theta_3 - \theta_2} \frac{\theta_4 - \theta_3}{\theta_3 - \theta_2} \\ &= -0,056 \left(1 + \frac{6,5}{6} \right) + \frac{0,009}{0,113} + \frac{0,023 - 0,009}{0,105} \frac{6,5}{6} = 0,069 \end{aligned}$$

Numéros.	a_i .	b_i .	$a_i + b_i$.	$a_i - b_i$.	$a_i^2 - b_i^2$.	a_i^3 .	b_i^3 .
1.	3,0	4,6	7,6	-1,6	-12,1	27	97
2.	13,7	15,8	29,5	-2,1	-62,0	2571	3944
3.	13,7	17,8	31,5	-4,1	-129,1	2571	5640
4.	13,7	22,4	36,1	-8,7	-314,0	2571	11239
5.	13,7	22,8	36,5	-9,1	-332,1	2571	11852
6.	13,7	22,4	36,1	-8,7	-314,0	2571	11239
7.	13,7	17,8	31,5	-4,1	-129,1	2571	5640
8.	13,7	16,1	29,8	-2,4	-71,5	2571	4173
9.	11,1	6,9	18,0	+4,2	+75,6	1368	329
			236,6		+75,6	19392	54153
Corrections.....		24,0			+811,0		19392
					-1363,9		24113
			$Q_4 = 280,6$		$Q_4 = -477,3$		$97658 = \Sigma(a_i^3 + b_i^3)$

$$e_4 = \frac{1}{2} \frac{Q_4}{q_4} = -\frac{1}{2} \frac{477,3}{280,6} = -0,850$$

$$p_4 = p_3 \frac{q_3}{q_4} + \frac{1}{2} (\theta_4 - \theta_3) \left(e_4 + e_3 \frac{q_3}{q_4} - \tau_3 \frac{q_3}{q_4} \right) = -0,052.$$

Ordonnée de la casemate	= 8,9
Distance de son milieu à H_3	= 18,3
Correction pour Q_4	= 8,9.18,3.2.9.0,3 = +811.
Correction pour q_4	= 8,9.0,3.9 = +24,0
Correction pour $\Sigma(a_i^3 + b_i^3)$	= 8,9.0,3.9.3.(18,3) ² = 24113.

Nous ne continuons pas plus loin la construction des flottaisons isocarènes, car ces calculs suffisent pour l'intelligence de la méthode, et ils montrent en même temps que les plans auxiliaires peuvent bien être assurés pour les flottaisons isocarènes, car les corrections p_i qui sont toutes calculées en centimètres à l'échelle du dessin, c'est-à-dire que pour avoir leur valeur naturelle on devrait les multiplier par 50. On voit bien alors qu'ils ne surpassent pas 2^{cm} en nature, ce qui fait presque l'épaisseur des traits du dessin.

Les calculs ultérieurs se font de la manière suivante :

Calcul de ρ_i et de λ_i .

$$\rho_i = \frac{7}{2} \frac{\sum (a_i^3 + b_i^3)}{2TS} ; \quad \lambda_i = \frac{7}{2} \frac{q_i \eta_i^2 - Q_i \eta_i}{2TS}$$

Calcul de ρ_i .				Calcul de λ_i .		
I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.
$\Sigma a_i^3 + b_i^3$.	log I.	$\log \rho_i = \log I$	ρ_i .	$q_i \eta_i^2$.	$-Q_i \eta_i$.	$\lambda_i = II$
$i.$		$+5,9772$.		$i.$		$\times 0,000142$.
0..	95044	4,9770	9,018	0..	0	0
1..	99920	4,9997	9,482	1..	49	0,007
2..	105745	5,0242	10,033	2..	7	0,002
3..	104388	5,0187	9,906	3..	1	0,005
4..	97658	4,9897	9,266			

Calcul des coordonnées des centres de carènes (limite supérieure).

$$y_{i+1} - y_i = \frac{1}{2} (\rho_{i+1} + \rho_i) (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i) + \lambda_i (\sin \theta_{i+1} - \sin \theta_i)$$

$$z_{i+1} - z_i = \frac{1}{2} (\rho_{i+1} + \rho_i) (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}) + \lambda_i (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1}).$$

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
		$\frac{1}{2}(\rho_{i+1} + \rho_i)$			$\sin \theta_{i+1}$	$\cos \theta_i$	$y_{i+1} - y_i$	$z_{i+1} - z_i$		
$i.$	$\theta_i.$	$+\lambda_i.$	$\sin \theta_i.$	$\cos \theta_i.$	$-\sin \theta_i.$	$-\cos \theta_{i+1}.$	$= I \times IV.$	$= I \times V.$	$y_i.$	$z_i.$
0.	0,0	9,250	0,0000	1,0000	0,1736	0,0152	1,606	0,140	0,000	0,000
1.	10,0	9,764	0,1736	0,9848	0,1437	0,0365	1,402	0,364	1,606	0,140
2.	18,5	9,972	0,3173	0,9483	0,0974	0,0383	0,971	0,382	3,008	0,504
3.	24,5	9,591	0,4147	0,9100	0,1003	0,0528	0,961	0,506	3,979	0,886
4.	31,0	"	0,5150	0,8572	"	"	"	"	4,940	1,394

Calcul des bras de levier (limite supérieure).

$$r_i = y_i \cos \theta_i + z_i \sin \theta_i.$$

		I.	II.	III.	IV.
				$r_i = I + II$	r_i
$i.$	$\theta.$	$y_i \cos \theta_i.$	$z_i \sin \theta_i.$	cent. sur le dessin.	grandeur naturelle mètres.
0...	0°	0	0	0	0
1...	10,0	1,582	0,024	1,606	0,803
2...	18,5	2,853	0,159	3,012	1,506
3...	24,5	3,621	0,367	3,988	1,994
4...	31,0	4,234	0,718	4,952	2,476

Calcul de la limite inférieure des bras de levier.

Le calcul de la limite inférieure des bras de levier exige en premier lieu les sommes

$$\Sigma [(a_i + a_{i+1})^3 + (b_i + b_{i+1})^3],$$

qui servent pour trouver les valeurs des R_i .

Calcul de R_i .

$$R_i = \frac{7}{3} \cdot \frac{\sum [(a_i + a_{i+1})^3 + (b_i + b_{i+1})^3]}{2TS} \quad \left(\log \frac{7}{3} \cdot \frac{1}{2TS} = 3,9772 \right).$$

$i = 0.$		$i = 1.$		$i = 2.$		$i = 3.$	
$a_i + a_{i+1}$	Cubes	$a_i + a_{i+1}$	Cubes	$a_i + a_{i+1}$	Cubes	$a_i + a_{i+1}$	Cubes
$b_i + b_{i+1}$	100.	$b_i + b_{i+1}$	100.	$b_i + b_{i+1}$	100.	$b_i + b_{i+1}$	100.
6,63	2,9	6,35	2,5	6,2	2,4	6,2	2,4
29,57	258,4	30,30	278,2	31,4	309,6	29,8	264,6
33,56	377,9	34,20	400,0	34,3	403,5	30,8	292,2
41,24	701,3	42,35	759,9	38,3	561,8	30,8	292,2
42,60	773,1	42,80	784,0	38,5	570,7	30,8	292,2
42,42	763,3	42,50	767,7	38,4	566,2	30,8	292,2
37,95	546,5	38,60	575,1	36,5	486,3	30,8	292,2
35,95	464,6	38,75	581,9	35,6	451,2	30,8	292,2
18,60	64,3	20,20	84,4	21,2	95,3	20,0	92,6
6,58	2,9	6,70	3,0	7,4	4,0	8,6	6,4
29,07	245,6	29,60	259,3	30,4	280,9	31,1	300,8
33,16	364,6	33,80	386,1	34,5	410,6	35,1	432,4
41,39	714,2	43,40	817,5	44,3	869,4	44,6	887,2
42,70	778,5	44,00	851,8	45,1	917,3	45,4	935,8
42,42	763,3	43,50	823,1	44,5	881,2	45,7	954,4
37,25	516,9	35,60	451,2	36,6	490,3	35,9	462,7
34,80	421,4	34,10	396,5	33,4	372,6	32,5	343,3
16,20	42,5	14,80	32,4	14,2	28,6	13,8	26,3
$\Sigma = \text{Sommes.}$	7802,2		8252,2		7701,9		6464,1
$2 + \log \Sigma \dots$	5,8922		5,9166		5,8866		5,8105
$\log R_i \dots \dots$	1,8694		1,8938		1,8638		1,7877
$R_i \dots \dots \dots$	74,03		78,31		73,08		61,34

Calcul des coordonnées des centres de carène (limite inférieure).

$$y_{i+1} - y_i = \frac{1}{12} [(R_i - 2\rho_i) \cos \theta_{i+1} + (R_i - 2\rho_{i+1}) \cos \theta_i + l_i \cos \theta_{i+1} + m_i \cos \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i),$$

$$z_{i+1} - z_i = \frac{1}{12} [(R_i - 2\rho_i) \sin \theta_{i+1} + (R_i - 2\rho_{i+1}) \sin \theta_i + l_i \sin \theta_{i+1} + m_i \cos \theta_i] \sin(\theta_{i+1} - \theta_i),$$

$$l_i = \frac{(q_i - q_{i+1})\tau_i^2}{2TS} - 2Q_i \tau_i,$$

$$m_i = \frac{(q_i + q_{i+1})\tau_i^2}{2TS} - 2(Q_i + Q_{i+1})\tau_i.$$

Calcul de l_i .

I.	II.	III.
$i.$	$(q_i - q_{i+1})\tau_i^2$	$(I+II) \times 0,000284$
0.....	0	0
1.....	0	-0,004
2.....	0	+0,003
3.....	0	+0,019

Calcul de m_i .

I.	II.	III.
$i.$	$(q_i + q_{i+1})\tau_i^2$	$(I+II) \times 0,000224$
0.....	0	0
1.....	101	-0,005
2.....	14	+0,005
3.....	3	-0,020

Avant de calculer $y_{i+1} - y_i$, il faut faire la remarque suivante : tant que le pont supérieur n'est pas immergé et que les formes du navire sont continues, c'est-à-dire jusqu'à $\theta_2 = 18^\circ, 5$, les valeurs de ρ_i sont les mêmes dans ces formules que dans les précédentes; mais, dès que le pont supérieur s'immerge, elles ne le sont plus. En effet, en jetant un coup d'œil sur les Tables pour l'inclinaison $\theta_3 = 24^\circ, 5$ et $\theta_4 = 31^\circ$, on voit que l'on avait ajouté à la somme des cubes des ordonnées les corrections pour la casemate.

Dans la formule pour $y_{i+1} - y_i$ que nous voulons calculer, les ρ_i remplacent le rapport de la somme des cubes des ordonnées au déplacement; donc il faut prendre

$$\rho_3 = \frac{7}{3} \frac{53167 + 35501}{2TS} = 8,414$$

et

$$\rho_4 = \frac{7}{3} \frac{54153 + 19392}{2TS} = 6,980,$$

et ensuite il faudra ajouter à $y_{i+1} - y_i$ les corrections provenant des parties immergées de la casemate.

Calcul de y_i (limite inférieure).

$i.$	$\theta_i.$	I.	II.	III.	IV.	V.
		$R_i.$	$2\rho_i.$	$2R_i - 2\rho_i + l_i.$	$III \times \cos \theta_{i+1}.$	$R_i - 2\rho_{i+1} + m_i.$
0 ...	0,0	74,03	18,04	55,99	55,13	55,07
1 ...	10,0	78,31	18,96	59,35	56,29	58,24
2 ...	18,5	73,08	20,07	53,01	48,24	56,25
3 ...	24,5	61,34	16,83	44,53	37,96	47,42
4 ...	31,0	"	13,96	"	"	"
		VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
		$y_{i+1} - y_i = VII$ + correct.				$y_i.$
		$V \times \cos \theta_i.$	$IV + VI.$	$\frac{1}{3} VII \times \sin(\theta_{i+1} - \theta_i).$	pour casemate.	
0 ...	0,0	55,07	110,20	1,596	1,596	0
1 ...	10,0	57,35	113,64	1,396	1,396	1,596
2 ...	18,5	53,30	101,54	0,884	0,955	2,992
3 ...	24,5	43,13	81,09	0,765	0,946	3,947
4 ...	31,0	"	"	"	"	4,893

Corrections pour la casemate. Il a été déjà dit que la casemate occupe dans la partie centrale du navire, 0,3 de sa longueur totale. La partie immergée présente donc un prisme droit. La correction des $y_{i+1} - y_i$ est le rapport du moment de ce prisme au déplacement, le moment étant pris par rapport à l'axe passant par II. On a

Inclinaison $24^\circ, 5$; Aire de la section = 5; Ordonnée y de son centre de gravité = 18,5,
Moment du prisme immergé = 5.18,5.0,3L $\quad \quad \quad z \quad \quad \quad$ = 7,9,

Déplacement = D = $\frac{2TSL}{9.7}$,

Correction $\Delta y_3 = \frac{5.18,5.0,3.63}{2TS} = 0,071. \quad \Delta z_3 = 0,029.$

De même pour

Inclinaison 31° ; Aire de la section = 14,3; Ordonnée $y = 16,5$,

$$z = 9,2,$$

$$\text{Correction } \Delta y_4 = \frac{14,3 \cdot 16,5 \cdot 0,363}{2TS} = 0,181, \quad \Delta z_4 = 0,101.$$

Calcul de z_i (limite inférieure).

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
	$(R_i - 2\rho_{i+1} + l_i)$ $\times \sin \theta_{i+1}$	$(R_i - 2\rho_{i+1} + m_i)$ $\times \sin \theta_i$	I+II.	$\frac{III \times \sin(\theta_{i+1} - \theta_i)}{12}$	$z_{i+1} - z_i = IV$ + correct. pour casemate.	z_i
0	0,0	9,73	0,00	9,73	0,140	0,000
1	10,0	18,82	10,11	29,93	0,356	0,140
2	18,5	21,99	17,83	39,82	0,348	0,496
3	24,5	22,93	19,66	42,59	0,402	0,873
4	31,0	"	"	"	"	1,376

Calcul des bras de levier de la stabilité de forme (limite inférieure).

$$r_i = y_i \cos \theta_i + z_i \sin \theta_i.$$

	I.	II.	III.	IV.
	$y_i \cos \theta_i$	$z_i \sin \theta_i$	$r_i = I + II$, en centimètres sur le dessin.	r_i , grandeur naturelle (mètres).
0	0,0	0,000	0,000	0,000
1	10,0	1,573	0,024	1,597
2	18,5	2,838	0,157	2,995
3	24,5	3,592	0,362	3,954
4	31,0	4,195	0,709	4,904

On voit, par cet exemple, combien les limites pour les bras de levier de la stabilité de forme sont resserrées; on peut donc se contenter de la limite supérieure dont le calcul est bien plus aisé que celui de la limite inférieure, mais cette dernière est plus exacte.

Quant au calcul de la stabilité de poids (le terme $-a \sin \theta$), il ne peut présenter aucun embarras une fois a connu.

Enfin, pour avoir la stabilité dynamique, on n'a qu'à intégrer graphiquement le diagramme de la stabilité statique.

Discussion du Mémoire de M. Kriloff.

M. DOREMÉ dit que ce Mémoire lui paraît présenter d'utiles applications de la méthode Tchebycheff. Il fait remarquer que la question d'approximation traitée au début de ce long

travail a déjà fait l'objet de recherches en France. Il cite, en particulier, le commandant Guyou, comme ayant indiqué le nombre de décimales à prendre dans les calculs pour obtenir une approximation donnée dans les résultats. Il ajoute que la méthode Tchebycheff est encore applicable aux calculs de jaugeage, dont les formules actuellement en usage sont beaucoup plus complexes qu'il n'est nécessaire. La méthode Tchebycheff conduirait certainement à des simplifications notables.



ÉTUDES DE GÉOMÉTRIE DES CARÈNES,

PAR M. DOYÈRE,

Ingénieur de la Marine,
Sous-Directeur de l'École d'Application du Génie maritime.

I. — Remarque préliminaire.

Les théorèmes fondamentaux de la Géométrie des carènes, établis à diverses époques et par divers auteurs, sont en général démontrés dans les cours de Théorie du navire d'une façon qui, à notre avis, n'en fait pas ressortir, autant qu'il est possible de le faire, l'enchaînement mathématique.

Rappelons rapidement les plus importants de ces théorèmes. Ce sont :

1° Le théorème d'Euler : l'intersection de deux flottaisons isocarènes infiniment voisines passe par le centre de gravité de chacune d'elles ;

2° Le plan tangent en un point de la surface (C) est parallèle à la flottaison correspondante ;

3° Le rayon métacentrique correspondant à une flottaison et à une direction d'axe d'inclinaison données, a pour expression $R = \frac{I}{V}$ (V étant le volume de carène et I le moment d'inertie de la flottaison par rapport à l'axe d'inclinaison) ;

4° Le rayon de courbure de la courbe (F) a pour expression $\rho = \frac{dI}{dV}$.

Cette expression est due à M. Émile Leclert, ancien ingénieur de la Marine. ρ a reçu postérieurement de M. le capitaine de frégate Guyou le nom de *rayon métacentrique différentiel*.

5° Charles Dupin avait donné de ce rayon de courbure une autre expression :

$\rho = \frac{(i) \tan \mu}{S}$ dans laquelle S représente l'aire de la flottaison et $(i) \tan \mu$

le moment d'inertie, par rapport à l'axe d'inclinaison, de son contour chargé en chaque point d'un poids proportionnel à la tangente de l'angle μ que fait, en ce point, le plan tangent à la carène, avec la normale à la flottaison ; cette expression isolée fait pressentir l'existence de relations plus intimes entre la courbe enveloppe des flottaisons et les formes de la carène sur le pourtour de celles-ci.

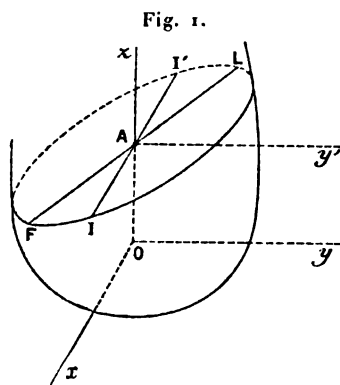
Ces propositions et quelques autres que nous rappellerons dans ce qui va

suivre, sont intimement liées entre elles. L'objet de cette étude est de faire voir comment elles découlent, d'une manière très simple, de quelques remarques fondamentales, presque évidentes, qui permettent en même temps de leur donner une large extension.

II. — Propositions fondamentales

Soit (*fig. 1*) une carène limitée par une flottaison FL et rapportée à trois plans de coordonnées rectangulaires, définis comme il suit :

XOZ est un plan quelconque; il coupe le plan FL suivant une droite II';



YOZ est perpendiculaire à II'; il coupe la flottaison suivant une droite FL;
XOY est parallèle à II'.

Soit α l'angle que fait la flottaison avec le plan XOY, angle égal à LAy' (Ay' étant parallèle à Oy).

Appelons du un élément infiniment petit du volume de la carène, x, y, z ses coordonnées, $F(x, y, z)$ une fonction quelconque de ces coordonnées; et considérons la valeur P de l'intégrale définie

$$P = \left[\int F(x, y, z) du \right],$$

étendue à la carène tout entière. Cherchons l'accroissement dP de cette quantité, quand on donne à la flottaison un déplacement infiniment petit. Nous n'envisagerons pas le cas général où le déplacement serait quelconque, mais seulement les deux cas particuliers suivants :

- 1° Le déplacement de la flottaison est une translation parallèle à OZ;
- 2° Le déplacement de la flottaison est une rotation d'un angle $d\alpha$ autour de II'.

PREMIER CAS : *La flottaison se déplace parallèlement à elle-même.* — L'accroissement dP de l'intégrale est évidemment égal à la valeur de cette intégrale étendue seulement à la tranche comprise entre FL et F'L' (*fig. 2*). En décomposant cette tranche en petits cylindres droits, ayant pour base les

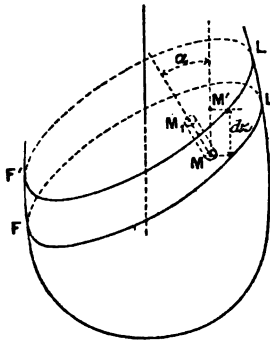
éléments $d\omega$ de la flottaison, l'un quelconque de ces cylindres élémentaires, tel que $\overline{MM_1}$, a pour volume

$$du = \overline{MM_1} \times d\omega = dz \cos \alpha \, d\omega;$$

par conséquent,

$$(1) \quad \begin{cases} dP = \left[\int F(x, y, z) \, du \right] \text{ étendu à la tranche.} \\ = dz \cos \alpha \times \left[\int F(x, y, z) \, d\omega \right] \text{ étendu à la flottaison FL.} \end{cases}$$

Fig. 2.

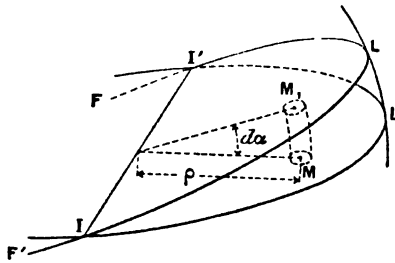


En désignant par $\mathcal{Q}$ la valeur de l'intégrale $\int F(x, y, z) \, d\omega$ pour la flottaison (1) , l'équation (1) s'écrit symboliquement

$$(2) \quad \frac{dP}{dz} = \mathcal{Q} \cos \alpha.$$

DEUXIÈME CAS : La flottaison tourne autour de II' . — L'accroissement dP est égal à la valeur de l'intégrale étendue aux onglets compris entre FL et $F'L'$

Fig. 3.



(fig. 3). En décomposant ceux-ci en petits éléments engendrés par la rota-

(1) D'une manière générale, dans ce qui va suivre, nous désignerons par des majuscules typographiques les intégrales ou fonctions quelconques relatives à la carène et par les mêmes majuscules cursives les valeurs correspondantes relatives aux flottaisons.

tion des éléments $d\omega$ de la flottaison, ou a, pour l'un quelconque de ces volumes élémentaires, tels que MM_1 ,

$$du = \rho dx d\omega,$$

en désignant par ρ la distance de M à la charnière II' . Par suite,

$$(3) \quad dP = \left[\int F(x, y, z) du \right],$$

étendue aux onglets,

$$= dx \left[\int \rho F(x, y, z) d\omega \right],$$

étendue à la flottaison.

En représentant par $\mathcal{P}$ la valeur de l'intégrale qui figure dans le second membre de cette équation, on a, comme représentation symbolique de ce théorème,

$$(4) \quad \frac{dP}{dx} = \mathcal{P}.$$

Des deux propositions qui précèdent, se déduisent, ainsi qu'on va le voir, la plupart des formules et des théorèmes intéressants de la Géométrie des carènes : ce ne sont que des cas très particuliers de ces relations générales.

III. — Formules relatives aux carènes isoclines.

3. Imaginons d'abord que la fonction $F(x, y, z)$ se réduise à la constante 1, et prenons le cas d'un déplacement de la flottaison parallèlement à elle-même. On a, dans ce cas,

$$P = \int du = V = \text{volume de la carène};$$

$$\mathcal{P} = \int d\omega = S = \text{aire de la flottaison},$$

et l'équation (2) devient

$$\frac{dV}{dz} = S \cos \alpha,$$

ou, en désignant par dh le déplacement de la flottaison perpendiculairement à elle-même,

$$(5) \quad \frac{dV}{dh} = S.$$

C'est la propriété connue : *L'échelle des volumes d'une série de carènes isoclines est l'intégrale de la courbe représentative des aires des flottaisons qui les limitent.* On en déduit, par l'application des méthodes approximatives d'intégration, les formules ordinaires employées pour le calcul des volumes des carènes isoclines, droites ou inclinées.

4. Cherchons de même l'accroissement du moment de la carène par rapport

au plan XOZ, que nous supposons pris perpendiculairement aux flottaisons isoclines considérées. Nous avons alors

$$P = M_{xz} = \int y \, du.$$

Par suite, en vertu de l'équation (1),

$$\frac{dM_{xz}}{dz} = \left(\int y \, d\omega \right),$$

étendue à la flottaison.

Mais, dans ce cas particulier, $y = \rho$. Donc

$$\int y \, d\omega = \int \rho \, d\omega = \mathfrak{M}_{II'} = \text{moment de la flottaison par rapport à II'}.$$

Donc

$$\frac{dM_{xz}}{dz} = \mathfrak{M}_{II'} \quad \text{ou} \quad dM_{xz} = \mathfrak{M}_{II'} \, dz.$$

Ce qui démontre que : *La courbe représentative des moments d'une série de carènes isoclines, par rapport à un plan qui leur est perpendiculaire, est l'intégrale de la courbe des moments des flottaisons successives par rapport au même plan.*

En évaluant cette intégrale par les méthodes approximatives d'intégration, on obtient les formules ordinaires employées soit dans les calculs réglementaires de déplacement, soit dans les calculs de carènes inclinées. (Méthode Normand.)

5. De la connaissance de M_{xz} et de V on déduit la valeur de la coordonnée y_1 du centre de carène,

$$y_1 = \frac{M_{xz}}{V}.$$

Veut-on avoir l'accroissement de cette coordonnée quand on passe d'une flottaison à la flottaison parallèle infiniment voisine ? On a

$$dy_1 = d \left(\frac{M_{xz}}{V} \right) = \frac{V \, dM_{xz} - M_{xz} \, dV}{V^2}.$$

On peut supposer que le plan XOZ passe par le centre de la première carène; on a alors

$$(7) \quad dy_1 = \frac{dM_{xz}}{V} = \frac{\mathfrak{M}_{II'}}{V} \, dz.$$

6. Au lieu de prendre le moment de la carène par rapport à XOZ, prenons-le par rapport à YOZ. Il a pour valeur

$$M_{yz} = \int x \, du.$$

Donc, en vertu de l'équation (1) et en supposant, comme tout à l'heure, le

plan XOZ perpendiculaire aux flottaisons,

$$\frac{dM_{yz}}{dz} = \left(\int x d\omega \right),$$

étendue à toute la flottaison.

Mais x est la distance de l'élément $d\omega$, à la droite Ay' , intersection du plan YOZ avec FL; donc

$$\int x d\omega = \mathfrak{M}_{Ay'},$$

et, par suite,

$$(8) \quad \frac{dM_{yz}}{dz} = \mathfrak{M}_{Ay'} \quad \text{ou} \quad dM_{yz} = \mathfrak{M}_{Ay'} dz.$$

On déduit de là, comme valeur de l'accroissement dx de la coordonnée x , du centre de carène, une expression algébrique analogue à celle de dy ,

$$(9) \quad dx_1 = \frac{\mathfrak{M}_{Ay'}}{V} dz.$$

7. Les moments pris par rapport à XOY, nous donnent de même

$$dM_{xy} = \int z du,$$

$$(10) \quad \frac{dM_{xy}}{dz} = \left(\int z d\omega \right) \text{ étendue à la flottaison} = \mathfrak{M}_{xOy}.$$

Par suite, en admettant que le plan XOY passe par le centre de carène primitif,

$$(11) \quad dz_1 = \frac{\mathfrak{M}_{xOy}}{V} dz.$$

8. Appelons ξ , η et ζ les coordonnées du centre de gravité de la flottaison initiale FL, par rapport aux trois plans que nous venons de considérer et qui passent par le centre de carène primitif. On a

$$\eta = \frac{\mathfrak{M}_{y'}}{S}, \quad \xi = \frac{\mathfrak{M}_{Ay'}}{S}, \quad \zeta = \frac{\mathfrak{M}_{xOy}}{S}.$$

En combinant ces équations avec les relations (7), (9) et (11), on obtient

$$dy_1 = \eta \frac{S dz}{V} = \eta \frac{dV}{V},$$

$$dx_1 = \xi \frac{S dz}{V} = \xi \frac{dV}{V},$$

$$dz_1 = \zeta \frac{S dz}{V} = \zeta \frac{dV}{V},$$

et, par suite,

$$(12) \quad \frac{dy_1}{\eta} = \frac{dx_1}{\xi} = \frac{dz_1}{\zeta} = \frac{dV}{V},$$

relations d'où il résulte que, si l'on considère la courbe lieu des centres d'une

série de carènes isoclines, la tangente en un point de cette courbe passe par le centre de gravité de la flottaison qui limite la carène correspondante.

Il en résulte également que, si l'on appelle σ la distance du centre de carène au centre de gravité de la flottaison correspondante et ds la longueur de l'arc élémentaire de la courbe lieu des centres des carènes isoclines, on a

$$(13) \quad \frac{ds}{\sigma} = \frac{dV}{V}.$$

On déduit aisément de là un moyen graphique simple de trouver les centres d'une série de carènes isoclines dont on connaît l'échelle de déplacement. Ces résultats sont, d'ailleurs, à peu près évidents géométriquement.

IV. — Formules relatives aux isocarènes.

9. Prenons toujours

$$F(x, y, z) = 1,$$

en sorte que, comme tout à l'heure,

$$P = \int du = V = \text{volume de carène.}$$

Mais supposons que la flottaison, au lieu de se déplacer parallèlement à elle-même, tourne d'un angle $d\alpha$ autour de II' . On aura, en vertu de l'équation (3),

$$dV = d\alpha \left(\int \rho \, d\omega \right),$$

étendue à la flottaison entière.

Mais

$$\int \rho \, d\omega = \mathcal{M}_{II'} = \text{moment de la flottaison rapportée à } II',$$

d'où

$$(14) \quad dV = \mathcal{M}_{II'} \, d\alpha \quad \text{ou} \quad \frac{dV}{d\alpha} = \mathcal{M}_{II'},$$

c'est-à-dire que : *Quand la flottaison tourne d'un angle $d\alpha$ autour de II' , la dérivée par rapport à α du volume de carène est égale au moment de la flottaison par rapport à II' .*

10. Il suit de là que pour que les deux flottaisons infiniment voisines qui se coupent suivant II' soient isocarènes, il faut et il suffit qu'on ait $\mathcal{M}_{II'} = 0$, c'est-à-dire que le centre de gravité de la flottaison soit sur II' .

C'est le théorème d'Euler.

11. Veut-on évaluer le volume compris entre deux flottaisons se coupant suivant II' et faisant entre elles un angle fini α_n ? Ce volume est égal à

$$(15) \quad \int_0^{\alpha_n} dV = \int_0^{\alpha_n} \mathcal{M}_{II'} \, d\alpha.$$

En calculant cette intégrale par les procédés d'évaluation approximative de la méthode des trapèzes, on a les formules employées pour le calcul des volumes dans les méthodes des carènes inclinées qui opèrent par plans rayonnants (Reech, Daymard, etc.)

12. Cherchons l'accroissement du moment de la carène par rapport au plan XOZ. Ce moment est

$$M_{xz} = \int y \, du,$$

c'est-à-dire qu'on a ici

$$F(x, y, z) = y.$$

Donc, en vertu de l'équation (3),

$$dM_{xz} = d\alpha \left(\int \rho y \, d\omega \right)$$

étendue à toute la flottaison.

Mais, α étant l'angle que la flottaison considérée fait avec le plan XOY, on a

$$y = \rho \cos \alpha.$$

Par suite

$$dM_{xz} = d\alpha \cos \alpha \left(\int \rho^2 \, d\omega \right)$$

étendue à toute la flottaison. Or $\int \rho^2 \, d\omega$ est le moment d'inertie $\mathfrak{J}_{II'}$ de la flottaison par rapport à II' , d'où

$$(16) \quad dM_{xz} = \mathfrak{J}_{II'} \cos \alpha \, d\alpha.$$

13. Veut-on avoir l'accroissement de M quand on passe de la flottaison FL à une autre qui la coupe suivant II' , et qui fait avec elle un angle α_n ? On a, comme valeur de cet accroissement,

$$\int_0^{\alpha_n} dM_{xz} = \int_0^{\alpha_n} \mathfrak{J}_{II'} \cos \alpha \, d\alpha,$$

équation dont le second membre, traité par les règles d'intégration approximative, donnera les formules employées pour le calcul des moments transversaux dans la méthode de Reech pour les carènes inclinées.

14. Le moment, par rapport au plan YOZ, a, de même, pour valeur

$$M_{yz} = \int x \, du.$$

c'est-à-dire qu'ici

$$F(x, y, z) = x.$$

On a par suite, par l'équation (3),

$$dM_{yz} = d\alpha \left(\int \rho x \, d\omega \right)$$

étendue à la flottaison. Or $\int \rho x d\omega$ est le moment produit d'inertie de la flottaison par rapport aux axes II' et Ay' . En le désignant par $\mathcal{P}_{xy}$, on a donc

$$(17) \quad dM_{yz} = d\alpha \mathcal{P}_{xy}.$$

15. Prenons enfin le moment de la carène par rapport à XOY :

$$M_{xy} = \int z du.$$

Donc

$$dM_{xy} = d\alpha \left[\int \rho z d\omega \right]$$

étendue à la flottaison.

Mais, si l'on admet qu'on a pris pour plan XOY le plan de la flottaison primitive, on a

$$z = \rho \sin \alpha.$$

Par suite

$$(18) \quad dM_{xy} = d\alpha \cdot \sin \alpha \int \rho^2 d\omega = \mathfrak{J}_{II'} \sin \alpha d\alpha.$$

Ceci est vrai à un infiniment petit du second ordre près.

16. Pour deux onglets limités par des flottaisons faisant entre elles l'angle α_n , on aura, en conséquence, comme valeur du moment, en hauteur

$$\int_0^{\alpha_n} dM_{xy} = \int_0^{\alpha_n} \mathfrak{J}_{II'} \sin \alpha d\alpha,$$

équation qui, par l'application des formules approximatives d'intégration, fournit, comme les précédentes, des formules employées dans la méthode de Reech.

17. On déduit des relations ci-dessus la valeur des variations infiniment petites des coordonnées du centre de carène quand on passe d'une flottaison à une autre flottaison infiniment voisine et isocarène de la première. Il faut tout d'abord supposer que II' passe par le centre de gravité de FL (d'après le théorème d'Euler). Cela étant, si l'on prend pour plan XOY, le plan même de la première flottaison FL, on a

$$(19) \quad \left\{ \begin{array}{ll} dy_1 = \frac{dM_{xz}}{V} = \frac{\mathfrak{J}_{II'}}{V} d\alpha, & \text{En vertu de l'équation (16), } \cos \alpha \text{ étant ici } = 1 \text{ aux infiniment petits du second ordre près.} \\ dx_1 = \frac{dM_{yz}}{V} = \frac{\mathcal{P}_{xy}}{V} d\alpha, & \text{En vertu de l'équation (17).} \\ dz_1 = \frac{dM_{xy}}{V} = 0. & \text{Ou un infiniment petit du second ordre au moins, car } \sin \alpha \text{ est infiment petit du premier ordre.} \end{array} \right.$$

18. De ce que dz_1 est infiniment petit du second ordre au moins, alors que dx_1 et dy_1 sont infiniment petits du premier ordre, et cela quelle que soit la direction de II' , il s'ensuit que le plan tangent à la surface lieu des centres

des isocarènes est, en chaque point, parallèle à la flottaison FL correspondante.

19. Il s'ensuit également que, si nous considérons la projection sur le plan ZOY de la courbe lieu des centres des isocarènes limitées par des flottaisons parallèles à Ox, l'arc infiniment petit de cette projection correspondant à l'inclinaison $d\alpha$ est égal à dy_1 , aux infiniment petits d'ordre supérieur près.

Par suite, le rayon de courbure de cette courbe (C) projetée a pour valeur

$$r = \frac{dy_1}{d\alpha}.$$

Or, en remplaçant dy_1 par sa valeur,

$$(20) \quad r = \frac{\mathfrak{M}_{II'}}{V};$$

c'est ce qu'on appelle le *rayon métacentrique* correspondant à la direction d'axe d'inclinaison II'.

On déduit de cette relation, par la considération de l'ellipse d'inertie de la flottaison, la relation connue entre les rayons métacentriques correspondant à diverses directions de l'axe d'inclinaison.

20. Cherchons de même le rayon de courbure de la courbe enveloppe des flottaisons isocarènes parallèles à II', projetée sur le plan YOZ.

Ces flottaisons se coupant suivant des droites qui passent par leur centre de gravité, si nous appelons η la coordonnée de ce centre de gravité par rapport au plan XOZ, nous aurons, pour expression du rayon de courbure cherché,

$$\rho = \frac{d\eta}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{\mathfrak{M}_{II'}}{S} \right).$$

Mais

$$\mathfrak{M}_{II'} = \frac{dM_{xz}}{dz},$$

d'où

$$\rho = \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{dM_{xz}}{S dz} \right) = \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{dM_{xz}}{dV} \right) = \frac{d}{dV} \left(\frac{dM_{xz}}{d\alpha} \right),$$

en désignant par dV l'accroissement de volume qui correspond à la translation dz . En remplaçant $\frac{dM_{xz}}{d\alpha}$ par $\mathfrak{M}_{II'}$ qui lui est égal en vertu de l'équation (19), on a donc l'expression suivante du rayon métacentrique différentiel

$$(22) \quad \rho = \frac{d\mathfrak{M}_{II'}}{dV}.$$

21. De cette équation combinée avec l'équation (20) se déduit, comme on sait, le théorème de M. Émile Leclert; il suffit, pour cela, de considérer l'égalité

$$\mathfrak{M}_{II'} = V.r$$

et d'en prendre la dérivée par rapport à V ; ce qui donne

$$\rho = \frac{d\gamma_{II'}}{dV} = r + V \frac{dr}{dV}.$$

RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS D'UNE FLOTTAISON ET LES FORMES DE LA CARÈNE
SUR SON POURTOUR.

22. Un théorème analogue aux propositions fondamentales démontrées au commencement de cette Note établit les relations qui existent entre les éléments d'une flottaison et les formes de la carène sur son pourtour.

Considérons, pour une flottaison quelconque, l'intégrale

$$\mathcal{Q} = \left[\int F(\rho, x) d\omega \right]$$

étendue à toute la flottaison, ρ et x étant les coordonnées de l'élément $d\omega$ pris par rapport aux axes II' et Ay' situés dans le plan même de la flottaison.

Imaginons d'abord que la flottaison se déplace parallèlement à elle-même de FL en $F'L'$, en emportant avec elle les axes II' et Ay' . L'accroissement de $\mathcal{Q}$ correspondant à ce déplacement est évidemment égale à la valeur de l'intégrale

$$\int F(\rho, x) d\omega$$

étendue seulement à l'aire, en forme de couronne ou de lunules, comprise entre FL et la projection F_1L_1 de $F'L'$ sur FL ; cette aire étant considérée comme positive lorsqu'elle est en dehors de la flottaison FL et comme négative lorsqu'elle est en dedans. Ainsi, dans la figure ci-contre, la lunule doublement hachurée doit être considérée comme positive et la lunule qui n'a que des hachures horizontales, comme négative.

Fig. 4.

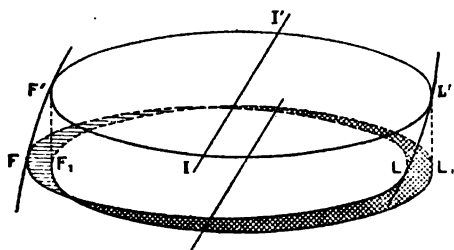
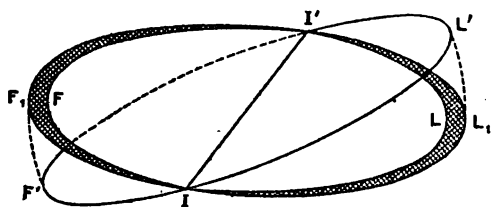


Fig. 5.



Dans le cas où la flottaison, au lieu de se déplacer parallèlement à elle-même, tourne d'un angle $d\alpha$ autour de II' , on a le même résultat en considérant les lunules comprises entre FL et le rabattement F_1L_1 de $F'L'$ sur FL . Dans la figure telle que nous l'avons faite pour ce cas, les deux lunules ont été supposées positives.

Dans l'un et l'autre cas, on a

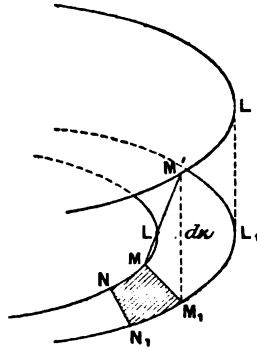
$$(24) \quad d\mathcal{Q} = \left[\int F(\rho, x) d\omega \right],$$

étendue aux lunules.

23. On peut donner à ce qui précède un énoncé qui rappelle ceux de certains théorèmes de Ch. Dupin.

Imaginons que nous décomposions les lunules en éléments infiniment petits par des normales au contour de FL; soit MM₁, NN₁, un de ces éléments,

Fig. 6.



dans le premier cas ci-dessus considéré, c'est-à-dire dans le cas d'un déplacement perpendiculaire à la flottaison FL. L'aire $d\omega$ de cet élément est, en appelant $d\sigma$ l'arc MN du contour de FL,

$$d\omega = d\sigma \times \overline{MM_1}$$

(avec le signe + ou le signe — suivant que MM₁ est en dehors ou en dedans de FL).

Mais, en désignant par μ l'angle que fait en M la muraille du navire avec la verticale, angle égal à $\widehat{MM'M_1}$, et en considérant cet angle comme positif lorsque la muraille a du devers en M et comme négatif quand elle a de la rentrée, on a

$$\overline{MM_1} = dz \tan \mu.$$

Par suite, dans ce premier cas,

$$(25) \quad d\mathcal{Q} = dz \left[\int F(\rho, x) d\sigma \tan \mu \right],$$

étendue à tout le pourtour de FL, ou

$$(26) \quad \frac{d\mathcal{Q}}{dz} = \left[\int F(\rho, x) d\sigma \tan \mu \right],$$

étendue à tout le pourtour de FL.

C'est-à-dire que : *La dérivée en Z de la fonction $\mathcal{Q}$ pour la flottaison est égale à la valeur de cette même fonction appliquée au contour de FL, chargé en chaque point d'un poids proportionnel à $\tan \mu$.*

Nous écrirons ceci symboliquement de la façon suivante :

$$\frac{d\mathcal{Q}}{dz} = (p) \tan \mu.$$

Dans le cas où l'on considère, non plus un transport, mais une rotation de la flottaison FL, on a encore

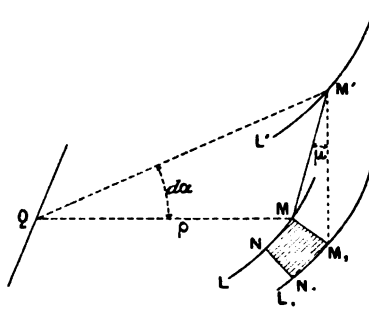
$$d\omega = d\sigma \times \overline{MM_1} = d\sigma \times \overline{M'M_1} \tan \mu.$$

Mais ici

$$M'M_1 = \rho \, dx,$$

aux infiniment petits d'ordre supérieur près.

Fig. 7.



Donc

$$(27) \quad d\mathcal{Q} = d\alpha \left[\int \rho F(\rho, x) \, d\sigma \tan \mu \right],$$

étendue au contour de la flottaison, équation que nous représenterons symboliquement par

$$(28) \quad \frac{d\mathcal{Q}}{dz} = (p \times \rho) \tan \mu.$$

Des propositions qui précèdent peuvent se déduire les remarques suivantes :

24. Le rayon de courbure de la courbe enveloppe des flottaisons a, comme on l'a vu (n° 21), pour valeur $\rho = \frac{d\mathcal{M}}{S \, dz}$. Mais, d'après ce que nous venons de dire,

$$\frac{d\mathcal{M}}{dz} = (i) \tan \mu,$$

d'où

$$\rho = \frac{(i) \tan \mu}{S}.$$

C'est le théorème de Ch. Dupin, dont nous avons parlé au début de cette Note.

25. Cherchons la condition pour que le rayon métacentrique soit croissant avec α . On a (équation 20)

$$r = \frac{\delta_{II'}}{V},$$

d'où en différentiant, avec l'hypothèse $V = \text{const.}$, puisqu'il s'agit d'isocarènes,

$$dr = \frac{1}{V} d\delta_{II'},$$

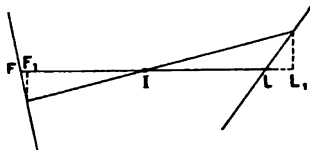
ou, d'après l'équation (24),

$$dr = \frac{1}{V} \times (\text{moment d'inertie de l'ensemble des lunules comprises entre FL et le rabattement de F'L'}).$$

La condition pour que r soit croissant avec α à partir d'une flottaison FL, c'est donc que le moment d'inertie des lunules soit positif.

Ceci contient, comme cas très particulier, la démonstration d'une remarque faite par M. le capitaine de frégate Guyou pour les flotteurs cylindriques, à savoir que, pour un semblable flotteur, le rayon métacentrique est croissant quand le navire incline du côté de la muraille qui fait le plus petit angle avec

Fig. 8.



l'horizon. Il est évident qu'alors, en effet, les lunules se réduisent à deux bandes rectangulaires infiniment petites dont la longueur est parallèle à l'axe II' et qui sont situées à égale distance de part et d'autre de cet axe. La plus large de ces deux bandes et par conséquent aussi celle qui donne son signe au moment d'inertie est visiblement celle qui se trouve du côté qui fait avec la flottaison FL le plus petit angle.

Un autre énoncé de la condition nécessaire pour que r soit croissant résulte de l'équation (27). On a

$$\frac{dr}{d\alpha} = \frac{1}{V} \frac{d\delta_{II'}}{d\alpha}.$$

Or, d'après l'équation précitée,

$$\frac{d\delta_{II'}}{d\alpha} = \left(\int \rho \cdot \rho^2 d\sigma \tan \mu \right) = \left(\int \rho^3 \cdot d\sigma \tan \mu \right),$$

étendue au contour de la flottaison.

Si l'on désigne par $(i_3) \operatorname{tang} \mu$ l'intégrale $\left(\int \rho^3 d\sigma \operatorname{tang} \mu \right)$ qu'on pourrait appeler *moment d'inertie du troisième ordre* du contour de la flottaison chargé proportionnellement à $\operatorname{tang} \mu$, on voit qu'on a

$$(30) \quad \frac{dr}{d\alpha} = \frac{1}{V} (i_3) \operatorname{tang} \mu,$$

et la condition nécessaire et suffisante pour que r croisse en même temps que α , c'est que ce moment d'inertie du troisième ordre du contour chargé à $\operatorname{tang} \mu$ soit positif.

Ceci n'est vrai qu'aux infiniment petits de second ordre près, et, par conséquent, cela ne s'applique pas lorsque $(i_3) \operatorname{tang} \mu$ est infiniment petit du second ordre ou nul, c'est-à-dire, en particulier, pour la flottaison droite dans un flotteur symétrique.

V. — Propriétés relatives aux carènes limitées par des flottaisons d'aire constante.

26. Au lieu de considérer des flottaisons isoclines ou isocarènes, étudions le cas des carènes limitées par des flottaisons d'aire constante.

Pour cela, supposons que $F(\rho, x)$ se réduise à 1, de telle sorte que l'on ait

$$F(\rho, x) d\omega = \int d\omega = S = \text{aire de la flottaison.}$$

Deux cas sont à distinguer :

1° On suppose que la flottaison se déplace parallèlement à elle-même; pour que son aire reste constante, il faut qu'on ait $\frac{dS}{d\alpha} = 0$. Mais

$$(31) \quad \frac{dS}{d\alpha} = \left(\int d\sigma \operatorname{tang} \mu \right),$$

étendue au contour de la flottaison $= (p) \operatorname{tang} \mu$.

L'intégrale du second membre représente le poids du contour de la flottaison chargé proportionnellement à $\operatorname{tang} \mu$. Donc, pour que dans ce déplacement isocline, l'aire de la flottaison reste constante, il faut que ce poids soit nul.

Cela revient à dire, tout simplement, que les aires des deux lunules comprises entre FL et F'L' doivent être égales et de signe contraire, ce qui est évident.

2° Supposons maintenant que la flottaison tourne d'un angle $d\alpha$ autour de II'. Pour qu'on ait $S = \text{const.}$, il faut qu'on ait

$$0 = \frac{dS}{d\alpha} = \left(\int \rho d\sigma \cdot \operatorname{tang} \mu \right),$$

étendue au contour de la flottaison.

Mais l'intégrale ci-dessus n'est autre chose que le moment statique du contour de la flottaison chargé proportionnellement à $\tan \mu$. Désignons-le par $(m) \tan \mu$. La condition pour que les deux flottaisons soient d'égale aire, c'est

$$(m) \tan \mu = 0,$$

c'est-à-dire que : *Pour que deux flottaisons infiniment voisines qui se coupent soient d'égale aire, il faut et il suffit que leur droite d'intersection passe par le centre de gravité de leur contour, chargé proportionnellement à $\tan \mu$.*

C'est un théorème similaire de celui d'Euler.

27. On déduit de là l'expression du rayon de courbure de la courbe enveloppe des flottaisons d'aire constante, parallèles à une direction Π' , projetée sur un plan perpendiculaire à Π' . Si l'on appelle, en effet, e la coordonnée transversale du centre de gravité du contour chargé à $\tan \mu$, on a, comme valeur du rayon de courbure cherché,

$$\rho_1 = \frac{de}{d\alpha} = \frac{d(m_{\Pi'}) \tan \mu}{(p) \tan \mu d\alpha}.$$

Mais, en vertu des équations (27) et (28),

$$\frac{d\mathcal{M}_{\Pi'}}{dz} = (m_{\Pi'}) \tan \mu; \quad \frac{d\mathcal{M}_{\Pi'}}{dx} = (i_{\Pi'}) \tan \mu.$$

Par conséquent,

$$\frac{d^2(\mathcal{M}_{\Pi'}) \tan \mu}{dx \cdot dz} = \frac{d(m_{\Pi'}) \tan \mu}{dx} = \frac{d(i_{\Pi'}) \tan \mu}{dz},$$

d'où

$$\rho_1 = \frac{d(i_{\Pi'}) \tan \mu}{(p) \tan \mu \cdot dz}.$$

Mais $(p) \tan \mu dz = \int d\sigma dz \tan \mu = \text{aire des lunules} = dS$, accroissement de l'aire de la flottaison pour un déplacement parallèle à dz donné à celle-ci.

Donc enfin

$$(32) \quad \rho_1 = \frac{d(i_{\Pi'}) \tan \mu}{dS},$$

expression absolument similaire de celle qui donne le rayon de courbure de la courbe enveloppe des flottaisons isocarènes (équation 12).

VI. — Diverses généralisations de ce qui précède. Carènes d'égale inertie d'ordre n . Carènes hétérogènes.

28. Ce qui précède est susceptible de diverses généralisations.

Par exemple, appelons *moment d'inertie d'ordre n* d'une carène par rap-

port à une droite II' située dans la flottaison qui la limite, la valeur de l'intégrale

$$I_n = \left(\int \rho^n du \right)$$

étendue à la carène entière, ρ étant la distance de l'élément du à la droite II' . (D'après cette définition, I_0 est le volume de la carène V , I_1 est son moment d'inertie usuel par rapport à II' , etc.)

Si on applique à ces moments d'inertie d'ordre n le théorème que traduisent les équations (3) et (4), on voit qu'on a, pour deux carènes infiniment voisines, qui se coupent suivant II' :

$$\frac{dI_n}{dx} = J_{n+1}$$

J_{n+1} étant le moment d'inertie d'ordre $(n+1)$ de la flottaison FL par rapport à II' . De là cette extension du théorème d'Euler :

La condition pour que deux carènes limitées par des flottaisons infiniment voisines faisant entre elles l'angle $d\alpha$ aient même moment d'inertie d'ordre n , par rapport à la droite d'intersection II' de ces deux flottaisons, c'est que le moment d'inertie d'ordre $(n+1)$ de celles-ci par rapport à II' soit nul.

29. On obtient des généralisations plus intéressantes de tout ce qui précède, en considérant des carènes découpées, non plus dans un solide homogène, mais dans un solide hétérogène, c'est-à-dire dont la densité varie d'un point à un autre, suivant une loi quelconque.

Sans nouvelle démonstration, on voit aisément que les théorèmes fondamentaux traduits par les équations (1) et (3) subsistent à condition d'y remplacer : 1° dans P , l'élément du volume du par l'élément du poids δdu correspondant ; 2° dans $\mathcal{P}$ l'élément d'aire $d\omega$ de la flottaison par l'élément du poids $\delta d\omega$ de cette flottaison, considérée comme ayant en chacun de ses points la densité qui correspond aux coordonnées de ce point.

Avec cette hypothèse, toute la suite de la Note reste applicable aux carènes hétérogènes.

1° Les formules qui donnent la variation des coordonnées du centre de gravité de la carène, soit pour un déplacement isocline, soit pour une rotation infiniment petite de la flottaison, sont toujours exactes, à condition d'y remplacer l'aire, le moment, le moment d'inertie, de la flottaison, par son poids, son moment, son moment d'inertie, en la considérant comme pesante et ayant en chacun de ses points la densité δ qui correspond aux coordonnées de ce point.

2° Le théorème d'Euler se généralise ainsi : Dans un solide hétérogène, deux flottaisons infiniment voisines limitant des carènes d'égal poids (ou isobares) se coupent suivant une droite passant par le centre de gravité de chacune d'elles, considérée comme pesante, etc. (comme ci-dessus).

3° Le rayon de courbure de la courbe lieu des centres de gravité des carènes hétérogènes d'égal poids est donné par $r = \frac{\mathfrak{J}}{P}$, P étant le poids constant de ces carènes et $\mathfrak{J}$ le moment d'inertie de la flottaison, considérée comme pesante, etc., par rapport à un axe d'inclinaison passant par son centre de gravité.

4° Le rayon de courbure de la courbe enveloppe des flottaisons limitant des carènes isobares est de même donné par $\rho = \frac{d\mathfrak{J}}{dP}$. Le théorème de M. Émile Leclert s'étend donc à ces carènes hétérogènes isobares, etc., etc.

Toutes ces propositions paraissent n'avoir d'ailleurs qu'un intérêt purement spéculatif et nous ne les indiquons que pour montrer la fécondité géométrique du mode de démonstration que nous avons exposé.

NOTE
SUR
L'UTILISATION DES CHALANDS
POUR
LA RÉPARATION DES PETITS BATEAUX

DANS LES PORTS A MARÉE,

PAR M. A. CRONEAU,
Ingénieur des Constructions navales,
Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

Un dock se compose essentiellement d'un flotteur de dimension appropriée à l'importance du bâtiment qu'on veut réparer à sec. On coule ce flotteur de manière à pouvoir amener le navire au-dessus de lui; puis on obtient, par diverses dispositions, un mouvement ascensionnel du flotteur qui entraîne avec lui le navire accoré à son intérieur et finit par le mettre complètement à sec.

L'idée de profiter de la marée pour diminuer le travail et la dépense que nécessite cette opération n'est pas nouvelle. Tout le monde connaît l'ingénieuse disposition du dock hydrostatique d'Edwin Clarke dans lequel, par une application rationnelle de ce principe, on a réalisé un bénéfice considérable sur le travail d'émersion.

L'appareil des Victoria Docks de Londres, très convenable pour des navires de grande dimension, exige une installation compliquée et coûteuse. Notre but est de montrer qu'en utilisant convenablement le jeu de la marée, on peut mettre à sec de petits navires de manière à pouvoir les réparer, et que cette opération, faite au moyen d'un matériel qui existe même dans de très petits ports et qui sert en temps ordinaire à d'autres usages, n'exige aucune dépense, si ce n'est celle de quelques accores et de quelques ventrières, c'est-à-dire de quelques pièces de bois sans grande valeur, dont il faut également faire les frais lorsqu'on veut échouer le bâtiment dans un dock, sur un berceau de halage ou dans un bassin.

Supposons que nous ayons à visiter la carène d'un petit bâtiment d'une cinquantaine de tonnes dans un port de l'Océan, où il n'existe aucun des trois moyens de mise à sec que nous venons d'indiquer. Ce port possède au moins quelques grands chalands, en bois ou en fer, pour le transport du charbon ou d'autres matières, et ces flotteurs sont capables de porter plus de cinquante tonnes. Rien n'est plus facile que d'échouer sur une plage un de ces chalands et d'ouvrir, sur le côté et à peu de distance des fonds, deux petits trous que nous fermerons en temps ordinaire par de simples robinets. C'est une dépense d'une quinzaine de francs au plus et, comme on va le voir, c'est la seule qu'il y ait à faire.

Grâce à ces deux robinets, le chaland est prêt à jouer le rôle de dock. Disposons aux extrémités, soit sur le fond, soit sur le plat-bord, des ventrières épousant la forme de deux sections au moins du petit navire à échouer. Notre petit bâtiment d'une cinquantaine de tonneaux a environ 90^m de tirant d'eau, 1^m au plus, et le chaland, une profondeur de 1^m, 70 à 1^m, 80; en additionnant les deux hauteurs nous arriverons à 2^m, 80 au maximum. Amenons le chaland, quand la mer est encore haute, ou qu'elle commence à descendre, à un endroit de la plage où le fond soit à peu près horizontal et découvre d'une hauteur de 3^m au moins, ce qui est facile à trouver. Par la simple ouverture de nos robinets en temps utile, nous ferons couler le chaland à la place choisie, et, lorsqu'il sera échoué, nous amènerons à la marée descendante le bâtiment au-dessus de lui : dans la ligne des ventrières et des tins, pour la position à donner au bâtiment, nous nous guiderons, par exemple, sur quatre montants fixés aux angles du chaland et sur lesquels nous prendrons des points d'appui pour diriger le petit bateau et l'assujettir dans la position voulue. La mer continuant à se retirer, le navire s'assoira sur ses ventrières en s'échouant, en même temps que l'eau s'écoulera par les robinets restés ouverts. Lorsque le chaland sera vide, nous accorerons le bâtiment tout à notre aise, en prenant appui dans l'angle de la muraille et du fond du flotteur. Il suffira ensuite de fermer les robinets avant que la mer se mette à monter pour que, quand celle-ci reviendra, le chaland se trouve soulevé et flotte emportant avec lui le petit navire dont on pourra réparer ou repeindre la coque tout à son aise, soit qu'on travaille dans le chaland lui-même, soit qu'on se place sur un ras de carénage placé à l'extérieur, si les parties à repeindre sont les extrémités avant ou arrière qui sont suspendues en porte à faux au delà des faces avant ou arrière du chaland, comme cela a d'ailleurs lieu aujourd'hui avec beaucoup de docks.

Nous ne croyons pas utile d'entrer ici dans des considérations théoriques sur la largeur à donner au chaland pour assurer sa stabilité lorsqu'il flotte avec le navire qu'il supporte. Nous n'avons pas, d'ailleurs, les éléments principaux de ces calculs; la longueur et la largeur des chalands qu'on trouve dans les différents ports sont assez variables, le déplacement et la position des centres de carène des petits bâtiments qu'on aurait avantage à faire passer

sur ces docks improvisés ne le sont pas moins. Ces calculs seraient à faire isolément dans chaque localité, pour se rendre compte si les chalands dont on dispose sont susceptibles d'être employés comme docks en toute sécurité. Nous tenons du reste pour certain que la plupart de nos chalands sont aptes dès maintenant à jouer ce rôle de docks pour des navires d'un tonnage modéré comme celui de beaucoup de torpilleurs garde-côtes. La stabilité qu'on doit demander à ces appareils est d'ailleurs relativement faible; il ne s'agit, en effet, que d'un flotteur destiné à rester en eau calme dans une rade ou à l'abri d'une digue. Nous n'avons pas besoin de faire remarquer que ces calculs très simples sont cependant indispensables pour que l'opération puisse se faire avec entière sécurité.

En ce qui concerne la manœuvre à effectuer, il ressort de ce qui précède qu'elle est des plus faciles. Nous pouvons ajouter que nous la garantissons d'après notre propre expérience, ayant eu l'occasion, pendant que nous étions en service à Lorient, d'appliquer ce système, à de nombreuses reprises, pour la mise à sec du *Port-Louis*, un très joli petit bateau à vapeur amphidrome, construit sur les plans de l'éminent Président de notre Association, M. l'Inspecteur général du Génie maritime de Bussy. Ce procédé, en usage depuis de longues années, a toujours été appliqué sans difficulté.

Application de ce système aux torpilleurs et aux petits yachts. — Le principal intérêt du système que nous proposons est de permettre de doter, presque sans aucun frais, les ports de l'Océan de nombreux docks pour la visite et la réparation des torpilleurs, et en même temps d'augmenter, sans aucune dépense pour le budget de la Marine, le nombre des docks existant dans la Méditerranée, en permettant d'y envoyer ceux qui se trouvent actuellement en service sur les côtes de l'Océan et de la Manche et qui deviendraient désormais inutiles. Étant donnée l'importance de plus en plus grande que prennent les stations de torpilleurs, ce résultat obtenu sans frais ne nous paraît pas à dédaigner.

Dans l'exposé que nous avons fait de notre système, nous n'avons considéré que le cas d'un chaland de 50 tonnes; mais, si l'on réfléchit à la grande hauteur des marées sur les côtes de l'Océan et de la Manche, à la profondeur modérée de la plupart des chalands, enfin au faible tirant d'eau ⁽¹⁾ des plus grands torpilleurs, il va de soi que nous aurions pu tout aussi bien envisager l'hypothèse d'un chaland de 80 ou 100 tonnes, suffisant pour soulever des torpilleurs type Balny pesant 66 tonnes, et même de plus grands. Ces chalands, qui sont d'un usage courant, suffiraient largement pour les besoins du service des torpilleurs disséminés le long de la côte; dans les principaux ports, on pourrait leur adjoindre des chalands capables de porter 150 tonnes, qui permettraient

(1) Abstraction faite, bien entendu, de la partie où se trouvent les hélices, partie qui est destinée à rester suspendue en porte à faux hors du chaland-dock.

la mise à sec des plus grands torpilleurs de haute mer. Dans les ports qui n'en posséderaient pas, on pourrait même éviter cette dépense, extrêmement faible relativement au prix d'un dock, de ses accessoires et de son bateau-pompe, en conjuguant ensemble deux chalands de moindre contenance au moyen d'écrous à oreilles, de traverses et de boulons. D'ailleurs, comme il s'agit d'un matériel indispensable pour le fonctionnement des ports et qui s'augmente et se renouvelle fréquemment, il serait facile, à l'avenir, de commander, dans les localités en question, des chalands un peu plus grands que les anciens, capables de satisfaire aux conditions requises.

L'emploi du système que nous préconisons aurait pour avantage d'augmenter l'autonomie des torpilleurs en les mettant à même de trouver dans les nombreux ports de refuge de l'Océan et de la Manche le moyen de sortir leur carène de l'eau, de procéder à la visite de leur coque et à des réparations urgentes. Il permettrait de doter les ports de la Méditerranée d'un nombre de docks beaucoup plus considérable qu'aujourd'hui; l'exemple du dock de Salamine remorqué de Toulon en Grèce prouve que, si le transport de semblables engins est délicat, il n'est pas impossible, en profitant d'une période de beau temps.

La mise à sec des torpilleurs est une des premières questions dont nous ayons eu à nous occuper au début de notre carrière d'ingénieur; nous avons été chargé, à ce moment, de construire et d'essayer les bers flottants dus à M. l'Ingénieur de la Marine Antoine. Nous croyons convenable de rappeler, en terminant cette Note, la solution économique et ingénieuse qu'avait proposée M. Antoine, et nous serions heureux si celle, tout à fait différente, que nous proposons aujourd'hui permettait d'augmenter, sans aucun frais et d'une manière notable, la valeur de notre matériel de réparation et l'autonomie des torpilleurs, et si elle pouvait correspondre, comme nous le pensons, à une amélioration qui eût demandé des sommes d'argent très considérables.

Nous appellerons également l'attention sur les avantages que la marine de plaisance pourrait, dans beaucoup de cas, retirer d'une telle mesure; les plus petits constructeurs trouveraient là un moyen économique et sûr pour visiter et réparer la carène de petits bâtiments qu'il est souvent dangereux de halier à terre ou d'abattre en carène à cause de leurs faibles échantillons. La marine de plaisance y aurait donc son intérêt, tout comme la marine de guerre, au grand avantage de cette dernière, qui pourrait profiter à l'occasion des chalands-docks appartenant aux chantiers du commerce.

LE

CONGRÈS INTERNATIONAL MARITIME

DE LONDRES,

PAR M. L. MULLER.

Le premier Congrès international maritime a eu lieu à Paris en 1889. Le second a été tenu à Londres au mois de juillet 1893. Il a été ouvert le 18 juillet, sous la présidence de lord Brassey, dans la salle des Ingénieurs civils. Dans son discours d'ouverture, le Président rappela qu'il était le fils d'un grand entrepreneur de travaux publics et parla des travaux de ports effectués en Angleterre et dans les colonies anglaises. Après lui, M. Mundella, le président du Board of Trade, parla du développement extraordinaire de la Marine marchande anglaise. En effet, celle-ci possédait environ 2 000 000^{tx} en 1800; elle comptait 2 500 000^{tx} en 1830; 7 149 000^{tx} (dont 1 800 000^{tx} pour les vapeurs) en 1870, et 10 250 000^{tx} en 1890, dont environ 6 000 000^{tx} pour les vapeurs et 4 250 000^{tx} pour les voiliers. Comme 1^e de navire à vapeur équivaut, en puissance effective, à 4^{tx} de navire à voiles, on voit que l'augmentation du tonnage anglais, depuis 1870, est équivalente à 17 250 000^{tx}, quantité plus forte que les tonnages réunis de toutes les autres marines marchandes du monde.

Il mentionna ensuite les dernières lois maritimes anglaises relatives à la sécurité de la navigation, aux chargements sur le pont, aux chargements de grain, aux engins de sauvetage et à la ligne de charge. Les navires étrangers qui prennent charge en Angleterre sont obligés de se soumettre à cette dernière loi, mais ceux qui viennent peuvent arriver surchargés, ce qui n'est pas permis aux navires anglais. Il serait donc nécessaire, d'après le Président du Board of Trade, d'avoir une convention internationale (1) pour réglementer ces différentes questions maritimes.

(1) La réunion d'une Conférence maritime internationale nous paraît également nécessaire pour permettre aux principales nations maritimes d'adopter un système de jaugeage uniforme et bien défini.

Les pertes d'hommes, dans la Marine marchande anglaise, qui étaient de 1 pour 57, en 1881, de 1 pour 66 en 1883 et de 1 pour 106 en 1885, n'ont plus été que de 1 pour 115 en 1891. Ces pertes ont donc diminué de moitié en dix ans, grâce, en grande partie, à la nouvelle législation. Le nombre d'hommes perdus, en 1881, a été de 2 352, tandis qu'il n'a été que de 1 071 en 1892, malgré la grande augmentation du nombre des navires et par conséquent du personnel embarqué. Grâce à la loi sur l'arrimage des navires chargés de grain, les pertes qui, de 1875 à 1877, avaient été de 60 navires et de 586 hommes, n'ont plus été que de 13 navires et de 230 hommes de 1890 à 1892. Pour les navires transportant des chargements sur le pont et surtout les navires chargés de bois, on compte 135 marins perdus de 1875 à 1877 et 44 seulement de 1890 à 1892.

Après une allocution du lord-maire de Londres souhaitant la bienvenue aux délégués français et étrangers, M. Vernon-Harcourt, le vice-président et secrétaire du Congrès, s'adressa en français aux délégués étrangers pour leur expliquer les facilités dont ils disposaient pour inspecter tous les ouvrages importants du pays qui pourraient les intéresser. M. Em. Bernard, de Paris, répondit aux souhaits de bienvenue.

On décida ensuite de répartir les travaux du Congrès en quatre sections : la première devant s'occuper des ports, des brise-lames et de la protection des côtes; la deuxième, des docks et de leur outillage; la troisième, de la construction navale, des machines marines et des machines auxiliaires placées à bord des navires; la quatrième, des phares et de leur éclairage, des communications électriques de la côte avec les phares et les bateaux-feux, et des signaux de brume.

Dans la première séance de la quatrième section, qui était présidée par le vice-amiral Colomb, M. James Kenward lut un Mémoire sur les feux de position des navires et les abordages. Dans la discussion qui suivit, le commandant Leclerc, notre attaché naval à Londres, dit qu'il désirait soumettre, comme sujet d'étude aux hommes scientifiques, une question relative à la mesure de l'intensité de la brume, question qu'il avait étudiée longuement pendant les huit années qu'il avait passées en station sur le banc de Terre-Neuve. En effet, il est difficile, dans ces parages brumeux, d'estimer *a priori* à quelle distance on peut distinguer le feu d'un autre navire. Or, il a trouvé le moyen de mesurer l'intensité de la brume avec une précision presque mathématique. Ainsi, par exemple, avec un temps clair, le rayon lumineux est très étroit, tandis qu'il est très large avec de la brume. Il a déduit de ses nombreuses observations certaines règles qui lui ont permis de dresser des tables à l'usage des officiers et il n'a jamais constaté que leurs indications l'aient induit en erreur. Grâce à elles, l'officier de quart peut, par un temps brumeux, observer son feu vert et, en se reportant à ces tables, se rendre compte de la distance à laquelle il pourra apercevoir les feux des autres navires qu'il rencontrera.

Bien qu'aucune communication n'ait été faite au sujet de la transmission

électrique des dépêches entre la côte, les phares et les bateaux-feux, il y eut une discussion sur ce sujet. Le commandant Leclerc appela l'attention des délégués étrangers sur le système qui a été établi entre le phare des *Needles* et la côte voisine et dans lequel on utilise la mer pour compléter le circuit électrique. Le câble métallique part de la côte et va jusqu'à une certaine distance du phare ou du bateau-feu, aboutissant à un *champignon* d'où le courant électrique se transmet à l'eau environnante. Un second *champignon*, relié par un câble métallique au bateau-feu ou au phare, recueille le courant électrique passant par le premier. La communication était si parfaite que l'on a pu établir des communications téléphoniques aussi bien que télégraphiques. Ce système obvie aux inconvénients résultant d'une communication directe en évitant l'usure ou la torsion du câble.

Il fut ensuite question des formes à donner aux bateaux-feux. Le commandant Cameron voudrait qu'on les construist avec des formes tout à fait rondes. Le commandant Leclerc émit une opinion contraire parce que ces flotteurs ronds exposeraient leurs équipages à une perte certaine en cas de rupture des chaînes du corps-mort. En leur laissant les formes d'un navire, leurs équipages pourront bien souvent les conduire à bon port ou dans un endroit abrité, tandis qu'avec une forme ronde ils flotteraient à la dérive et seraient jetés à la côte par des vents du large.

Les principaux Mémoires lus dans les première et troisième sections sont les suivants :

Construction de brise-lames, par le baron QUINETTE DE ROCHEMONT.

Derniers brise-lames construits et défenses marines en Italie, par le chevalier L. LUIGGI.

Les brise-lames et le port de Middegrunden, par le capitaine P. HANSEN.

Le port et le brise-lame de Copenhague, par M. H.-V. MOLLER.

La construction monolithique et les ouvrages sous-marins avec le ciment de Grouting, par M. W.-R. KINIPPLE.

Le dragage de la barre de la Mersey, par M. A.-G. Lyster, qui fit savoir, dans la discussion que l'on se disposait à augmenter la profondeur des seuils des Docks de Liverpool, pour faciliter l'entrée des grands paquebots transatlantiques et qui pense que cette profondeur sera portée à 9^m, 14 d'ici deux ou trois ans.

Le port du Havre, par M. H. VÉTILLARD.

Les installations hydrauliques du port de Gênes, par M. L. LUIGGI.

L'exploitation des ports de commerce, par M. E. BORGATTI.

Le mortier pour les travaux en mer, par M. E. FERET.

La perception physiologique des éclats instantanés, par M. A. BLONDELL.

Sur certaines formules pour calculer la puissance lumineuse des phares, par M. BOURDELLES.

Le port de Bordeaux, par M. CRAHAY DE FRANCHIMONT.

L'exploitation et l'outillage des ports de commerce et notamment celui de Marseille, par M. GUÉRARD.

La nouvelle drague à sable Brancker, construite pour le Mersey Dock and Harbour Board, par M. A. BLECHYNDEN.

Des ports situés sur les côtes sablonneuses et l'entrée du Lido, du port de Venise.
De l'éclairage des estuaires et des rivières, par M. W.-T. DOUGLAS.
Des feux de port, bouées et balises en Italie, par M. D. LO GATTO.
Des recherches sur les courants électriques continus et alternatifs pour l'éclairage des phares, par M. A. BLONDELL.
Le port de Calais, par M. A. CHARGUERAND.
Le port de Dunkerque, par M. PAUL JOLY.
L'allongement de la cale sèche de Livourne, par M. J. INGLESE.
Les docks de Londres et leur outillage (docks du côté nord de la Tamise), par MM. R. CARR et P.-E. DUCKHAM.
Les Surrey commercial Docks.
Le port et les docks de Newport.
Les travaux du port de la Guayra, par M. A.-E. CARREY.
Les ports et les systèmes de bacs en Danemark.
Le dragage des fonds rocheux dans les ports italiens, par MM. CIMINO et VERDINOIS.
Les phares turcs et égyptiens et les droits de feux dans la mer Rouge.
Comparaison de l'éclairage par le gaz ou par l'électricité dans les phares munis d'appareils optiques de grandes dimensions.
Des progrès réalisés dans la construction des phares.

Dans la troisième section, les principaux Mémoires lus ont été les suivants :

Lignes de paquebots reliant l'Angleterre au Continent, par M. A.-E. SEATON.
Les paquebots transatlantiques, par M. J.-H. BILES.
Les progrès de la marine à vapeur.
Le transport du pétrole en vrac, par M. FORTESCUE FLANNERY.
La construction des chaudières marines, par M. C.-E. STROMEYER.
L'usage des doubles fonds servant pour le lest d'eau,
Les relations techniques entre les armateurs et les constructeurs, par M. A. DENNY, constructeur à Dumbarton.

Les progrès de la marine à vapeur.

Le discours d'ouverture de la troisième section a été prononcé par Sir Thomas Sutherland, Président de la Compagnie Péninsulaire et Orientale, et se rapporte aux immenses progrès réalisés par la marine à vapeur depuis un demi-siècle. En voici quelques extraits :

L'un des premiers paquebots de la Compagnie P. et O., l'*Iberia*, pouvait à peine, il y a cinquante ans environ, filer 8 nœuds en consommant une tonne de charbon par 17^{ix} de déplacement. Il y a sept ou huit ans, cette même Compagnie possédait des paquebots atteignant une vitesse de 17 nœuds avec une consommation d'une tonne de charbon par 100^{ix} de déplacement. Cet exemple prouve bien l'énorme progrès réalisé depuis quarante ans dans le perfectionnement des machines marines. Depuis vingt ans, on constate que la vitesse des paquebots transatlantiques a été augmentée de plus de 50 pour 100. En 1873, cette vitesse était de 14 nœuds, tandis qu'elle atteint aujourd'hui

22 nœuds avec les nouveaux paquebots *Campania* et *Lucania*, de la Compagnie Cunard.

Pour les voyages de l'Extrême-Orient, l'augmentation de la vitesse a été relativement, sinon absolument, aussi grande. De 11 à 12 nœuds qu'elle était, il y a vingt ans, elle est maintenant de 16 à 17, ce qui a permis de délivrer les lettres destinées aux Indes anglaises quatorze jours après leur départ de Londres et celles destinées à l'Australie au bout de trois semaines et demie. Si les paquebots de l'Extrême-Orient ne réalisent pas des vitesses aussi grandes que celles des paquebots transatlantiques, c'est principalement parce que le nombre des passagers à transporter est beaucoup moins grand. Or, pour faire naviguer des paquebots à grande vitesse, il faut beaucoup de recettes comme prix de passages, surtout aujourd'hui que le gouvernement anglais rogne de plus en plus les subventions postales.

Il y a lieu aussi de se féliciter des résultats obtenus sous le rapport de la sécurité de la navigation : il y a quinze ou seize ans, les primes d'assurances étaient de 10 et quelquefois de 12 pour 100 sur certaines lignes, tandis qu'elles sont aujourd'hui de 4 à 5 pour 100, c'est-à-dire plus de moitié moindres. En ce qui concerne les pertes d'hommes, on voit que la moyenne annuelle a été de 1747, de 1876 à 1880; de 2173, de 1881 à 1885, et de 1547, de 1886 à 1890. Or, le mouvement maritime de l'Angleterre, qui était de 17 millions et demi de tonnes à l'entrée, en 1876, a été de 26 millions et demi en 1891, ce qui correspond à une augmentation de plus de 50 pour 100 en quinze ans pour les navires venant de l'étranger. Pour ceux affectés au cabotage national, leur tonnage à l'entrée s'est élevé, pendant ces quinze années, de 24 à 29 millions de tonnes.

Malgré cette augmentation considérable, la diminution dans la mortalité des marins et des passagers a été de 12 pour 100 en comparant la période de 1886 à 1890 avec celle de 1876 à 1880. En outre, la marine marchande anglaise emploie 50 000 hommes de plus en 1891 qu'en 1877. D'autre part, si l'on considère que la marine marchande anglaise compte 3000 vapeurs de plus, en 1891 qu'en 1877, et que chacun de ces vapeurs parcourt en moyenne 33 000 milles par an, on voit que l'augmentation du nombre de milles parcourus est d'environ 100 millions par an. Si l'on en retranche la moitié pour la diminution et la perte des navires à voiles, on constate que, malgré un emploi de 50 000 hommes de plus et une augmentation de parcours de 50 millions de milles marins, la mortalité des navigateurs a diminué de 12 pour 100, ce qui est un résultat très appréciable. Parlant ensuite de l'augmentation de la portée des navires, il rappela la construction du paquebot *Malwa* (de 2957¹² bruts) lancé en 1873, pour la Compagnie P. et O. : c'était alors un très grand navire. On vient de lancer tout récemment, pour cette même Compagnie, un grand navire de charge nommé *Japan*, qui aura la même vitesse (12 à 13 nœuds); mais, tandis que la portée du premier était, proportionnellement à son tonnage brut, de 96 pour 100, celle du second sera de 134 pour 100.

Cette différence est due aussi bien à la construction des machines qu'à celle de la coque, grâce à la substitution de l'acier au fer ainsi qu'au meilleur outillage et à la supériorité du travail.

Le prix des navires a diminué de 50 pour 100 depuis vingt ans et la consommation de charbon de 30 pour 100 proportionnellement à la puissance indiquée. Pour donner une idée de l'économie qui en résulte, il cite l'exemple de la compagnie P. et O., qui, en 1871, avait une flotte de 100 000 tonneaux de vapeurs en service, et dont la consommation de charbon était de 276 000 tonnes par an. En 1892, le tonnage de la flotte était de 217 000 tonneaux, ce qui aurait nécessité 950 000 tonnes de charbon si les constructions étaient restées les mêmes. Au lieu de cela, malgré ce doublement du tonnage et la grande augmentation de la vitesse, la consommation du charbon n'a été que de 430 000 tonnes en 1892, malgré la qualité inférieure des charbons employés pendant les dernières années. En effet, si les charbons de l'Inde, de la Chine, du Japon et de l'Australie coûtent moins cher, il faut considérer qu'on en brûle 25 pour 100 de plus, en moyenne, que si c'était du charbon de Cardiff.

Ces immenses progrès réalisés ont eu pour conséquence de faire augmenter, dans de grandes proportions, le tonnage de la flotte commerciale à vapeur, augmentation qui a été, pour l'Angleterre, une source énorme de richesse et en a fait la première nation maritime du monde.

On peut dire aussi que jamais l'industrie n'avait encore donné un exemple de progrès aussi frappant et aussi considérable que celui qui s'est effectué depuis quelques années dans l'art de la construction des navires et des machines en général.

Les paquebots de l'Océan.

Le professeur J.-H. Biles, de l'Université de Glasgow, a lu à la troisième section un *Mémoire sur les Paquebots de l'Océan*, dont voici quelques extraits :

Le paquebot transocéanique, dit M. Biles, est l'une des conséquences remarquables de l'invention de la machine à vapeur. C'est aujourd'hui un navire aux très grandes dimensions, naviguant avec la plus grande vitesse, portant relativement peu de marchandises et ayant presque la régularité des trains de chemins de fer. Cette régularité tend à augmenter en même temps que la puissance et les dimensions des navires, et, bien que les plus grands paquebots offrent une plus grande surface à l'action de la mer, l'augmentation de la masse se trouve être dans une plus grande proportion. En outre, tous les perfectionnements dans la machinerie ayant pour but d'en diminuer le poids, ils tendent à augmenter le montant de la puissance qui peut être utilisée dans un navire de dimensions données, de sorte que nous avons non seulement l'accroissement des dimensions qui permet d'augmenter la puissance,

mais aussi l'augmentation de la puissance due aux perfectionnements apportés dans la construction des machines.

Ces deux augmentations de puissance tendent, en même temps que l'accroissement naturel des dimensions, à rendre le paquebot transatlantique moderne plus apte à pouvoir donner une vitesse uniforme et, par suite, à faire des traversées régulières malgré le vent et la mer qui contrarient sa marche. Cet accroissement en puissance et en dimensions rend la construction des paquebots modernes plus difficile, surtout sous le rapport de la sécurité qui dépend principalement de la solidité, de la subdivision et de la stabilité. La solidité est une des conditions de la sécurité à laquelle les sociétés de classification apportent une grande attention depuis nombre d'années et d'où il résulte que la plupart des navires sont très solides pour le service qu'ils ont à faire.

A l'exception des très grands navires, il n'y a pratiquement pas le moindre risque d'insuffisance de solidité. Si l'on construisait un navire beaucoup plus grand que ceux d'aujourd'hui, il donnerait des signes de faiblesse pendant ses premiers voyages, mais les parties faibles pourraient être promptement renforcées. On peut dire qu'en général la solidité est l'élément de sécurité qui peut être donné avec le plus de certitude. Comme on désire obtenir des vitesses de plus en plus grandes, on est obligé de chercher à rendre moins lourde la solide structure de nos paquebots actuels, à l'aide de perfectionnements dans le matériel. L'habitude a stéréotypé notre système actuel et, quoiqu'on y apporte constamment des améliorations de détail, le temps n'est pas éloigné où l'on fera des structures différant radicalement de celles adoptées à l'époque actuelle.

La subdivision en compartiments séparés, pour augmenter la sécurité des paquebots, a été l'objet, depuis quelque temps, d'une attention plus grande qu'auparavant. Cela provient des conditions exigées par l'amirauté pour que les navires soient inscrits sur la liste de ceux susceptibles d'être réquisitionnés en cas de guerre. Le paquebot *America*, construit en 1883, est le premier sur lequel la division des cales a été telle que le navire peut flotter avec deux compartiments quelconques communiquant librement avec la mer. Plusieurs des grands paquebots construits depuis cette époque remplissent ces conditions, quelques-uns ayant même jusqu'à quatorze compartiments étanches. Le nombre des ouvertures dans les cloisons a été diminué. Sur certains navires, on a même supprimé toutes les ouvertures au-dessous de la flottaison.

Une autre garantie donnée à la sécurité a été l'adoption des hélices jumelles. On connaît l'exemple de ce grand paquebot à deux hélices, qui, ayant cassé un de ses arbres au milieu de l'Atlantique, a pu achever sa traversée avec son autre hélice, en filant seulement trois nœuds de moins et en n'arrivant qu'avec douze heures de retard. Un autre paquebot transatlantique à une seule hélice, ayant eu son arbre brisé, est resté, pendant une semaine entière, désemparé en pleine mer, jusqu'à ce qu'il ait été rencontré par un

autre vapeur qui l'a remorqué au port le plus voisin. Ce retard avait fait naître beaucoup d'inquiétude sur le sort de ce paquebot qui transportait de nombreux passagers.

On a proposé l'adoption de trois hélices pour les paquebots à très grande vitesse, mais il n'existe guère que des navires de combat pourvus de trois hélices. L'efficacité relative d'une, de deux ou de trois hélices n'a pas encore été clairement déterminée. Cependant, autant que l'on peut en juger d'après les résultats fournis par les paquebots actuels, en les comparant à ceux obtenus sur des modèles d'expériences, il paraîtrait qu'aucun des paquebots à deux hélices et à grande vitesse n'a pu atteindre une efficacité de propulsion aussi grande que les meilleurs des paquebots à une seule hélice. Il n'est pas probable, toujours d'après le professeur Biles, que l'efficacité des trois hélices soit supérieure à celle obtenue avec deux hélices.

Relations techniques qui doivent exister entre l'armateur et le constructeur.

Ce titre est celui d'un autre *Mémoire* qui a été lu à la troisième section par M. A. Denny, constructeur à Dumbarton. Je crois devoir le résumer tout entier tout en traduisant textuellement les principaux passages :

Notre opinion, aux chantiers de Dumbarton, disait M. Denny, a toujours été que les relations techniques entre les armateurs et les constructeurs devraient être aussi intimes que possible. Les renseignements fournis au constructeur par l'armateur qui désire faire construire un navire, devraient être aussi complets que possible et très précis, en spécifiant non seulement toutes les conditions exigées sous le rapport de la vitesse, de la portée, du tirant d'eau, etc., mais aussi toutes les autres raisons qui motivent ces conditions, et le constructeur devrait être invité à donner son opinion sur le type qu'il croit le mieux approprié au service auquel l'armateur veut l'affecter. D'autre part, l'armateur devrait recevoir du constructeur des informations complètes sur les qualités techniques du navire au moment de sa livraison.

C'est ce que font les chantiers de Dumbarton. Il en résulterait non seulement des relations plus agréables, mais aussi des améliorations importantes dans le type du navire, et surtout une économie profitable à l'armateur comme au constructeur. M. Denny avoue avec regret qu'il a souvent constaté chez certains armateurs une grande ignorance des lois qui régissent les corps flottants. On lui a demandé parfois de construire, pour des rivières peu profondes, des navires de dimensions telles que, même en leur donnant la forme de caisses rectangulaires, ils n'auraient pas pu porter le poids demandé, lors même que la coque et la machine n'auraient rien pesé. Les armateurs des navires de rivière ne se rendent généralement pas assez bien compte de l'influence du tirant d'eau sur la vitesse. L'un d'eux lui demanda, en 1892, de construire, pour la navigation de la Clyde, un vapeur à roues ne devant pas caler plus de quatre pieds et demi (1^m,37). Après avoir étudié l'affaire, il

trouva que, pour faire porter à ce navire le poids demandé, il fallait lui donner des formes trop pleines. Il consulta alors l'armateur pour lui demander à augmenter le tirant d'eau de 0^m,15, mais celui-ci refusa en disant que, si l'on augmentait le tirant d'eau, on allait diminuer la vitesse. N'ayant pas pu le convaincre de son erreur, M. A. Denny refusa de se charger de la construction de ce navire.

Dans la plupart des cas, plus le tirant d'eau est grand, plus la vitesse est grande. Un autre élément important pour la vitesse et la portée, c'est la longueur. Sous ce rapport, il a eu souvent beaucoup de peine à obtenir de l'armateur qu'il consentît à une petite augmentation de la longueur. Il cita comme exemple une compagnie à laquelle ses chantiers ont livré un bon nombre de navires. Il y a vingt ans, les capitaines de cette compagnie déclaraient qu'il était impossible, pour pouvoir entrer dans certains ports, d'avoir des navires de plus de 86^m de longueur et, pendant longtemps, la compagnie se crut obligée de ne pas aller au delà. Or, les ports desservis n'ont pas changé depuis cette époque et cependant le dernier paquebot construit, pour ces mêmes services, mesure 125^m de longueur, ce qui ne l'empêche pas d'y entrer et d'en sortir facilement. Cela prouve donc que l'opinion des capitaines a besoin d'être contrôlée dans certains cas. Pour la largeur, on a une tendance aujourd'hui à s'écarter de la règle qui a prévalu pendant un certain temps, à savoir de donner une largeur égale au $\frac{1}{10}$ de la longueur et l'on a raison de donner une largeur plus grande selon le mode de transport ou les voyages auxquels le navire doit être affecté.

C'est, d'après M. A. Denny, sur la question de la stabilité, que l'on trouve les idées les plus erronées chez les armateurs et les capitaines. Il rappelle, à ce propos, la communication qu'il a faite, en 1887, à l'*Institution des Naval Architects*, sur une méthode très simple permettant aux armateurs et aux capitaines d'avoir une juste appréciation de la stabilité de leurs navires, avec des conditions de chargement différentes. La forme en elle-même a évidemment un certain rapport avec la tendance du navire à rouler plus ou moins, mais le principal moyen de diminuer l'amplitude du roulis consiste à arrimer le chargement de façon que l'on ait une hauteur métacentrique modérée. Pour éviter le roulis, les poids lourds doivent être placés en abord, c'est-à-dire aussi écartés que possible du centre du navire, et la hauteur métacentrique doit être maintenue aussi peu élevée que possible, mais en conservant un rapport convenable avec la stabilité initiale.

Dans son Mémoire de 1887, M. A. Denny a donné la description d'un instrument très simple, au moyen duquel, avec un petit calcul, ou même sans calcul, le capitaine pouvait, en une demi-heure, se rendre compte, avant de prendre la mer, de la stabilité de son navire et voir s'il n'aurait pas des mouvements de rappel très violents. Il est persuadé que, si un capitaine se livre à cette expérience sur son navire, dans des conditions connues de chargement et pendant plusieurs voyages consécutifs, il arrivera à se rendre si bien

compte des conditions de stabilité de son navire qu'il pourra ensuite le charger, sans avoir besoin de faire de nouvelles expériences, de façon à le rendre parfaitement navigable. Mais ceci exige un certain travail de la part du constructeur pour préparer les diagrammes et le pendule nécessaires dans le genre de ceux fournis aux armateurs pour tous les navires sortis des chantiers Denny, à Dumbarton, depuis 1887.

L'auteur du Mémoire constate avec regret que peu de capitaines en font usage, mais ceux qui s'en sont servis ont obtenu d'excellents résultats. Il signale ensuite le cas d'un navire qui avait négligé de se servir du pendule en question. Ce navire faisait le cabotage, ne portait pas beaucoup de chargement et avait un compartiment à lest d'eau que son capitaine estimait devoir conserver plein. Or, ce navire, étant mouillé sur une rade ouverte, avait des coups de roulis si violents que tout se brisait sur le pont et qu'il en résultait de sérieuses avaries. L'armateur lui en ayant fait la remarque, il examina la position des poids à bord et constata que la hauteur métacentrique était six fois plus élevée qu'elle ne devait l'être et qu'au lieu de conserver plein le compartiment à lest d'eau, il fallait le vider complètement. Or, si ce capitaine avait pris le soin de faire une simple expérience de stabilité, il aurait évité de grandes dépenses à son armateur.

Il y a une autre qualité importante au sujet de laquelle les connaissances du constructeur pourraient être d'une grande utilité pour l'armateur; c'est la relation qui existe entre la vitesse et la portée. On a une tendance, depuis quelques années, à construire des navires à formes très pleines et avec des machines de faible puissance. Or, si, par temps calme, ces navires transportent de grands poids avec économie, il n'en est plus de même avec la moindre mer debout et les armateurs ont été beaucoup trop loin dans cette voie. Avec des navires à formes pleines, d'un coefficient de 0,82 comparé avec 0,74 qui était le coefficient des cargo-boats d'il y a dix ans, on a diminué les vitesses moyennes de plus d'un nœud.

L'augmentation du coefficient de 0,74 à 0,77 ou 0,78 n'est pas trop désavantageuse, mais quand on passe à 0,82 on obtient un navire moins cher au taux de tant par tonne de portée, mais on a un navire sans formes. Avec grosse mer de l'avant, ces navires à faibles machines n'avancent presque pas et cependant ils brûlent autant de charbon qu'un navire à formes moins pleines et qui, dans cette circonstance, marcherait beaucoup mieux. On perd donc promptement ce que l'on a pu gagner comme augmentation de portée.

La salissure de carène est aussi une grande cause de diminution de vitesse pour ces navires qui offrent une surface de frottement plus considérable. Du reste, les armateurs ont dû comprendre qu'ils avaient été trop loin, car une réaction s'opère en faveur des navires à formes moins pleines. Cette question de la plus ou moins grande finesse de formes à donner ne peut être déterminée que par expérience et elle est d'autant plus compliquée que la vitesse sera plus réduite sur un petit que sur un grand navire à formes pleines et

pourvu d'une faible machine. Pour arriver à des conclusions sérieuses, il est nécessaire d'analyser avec soin les renseignements fournis par les journaux de bord et que ceux-ci soient tenus avec soin, ce qui n'est pas toujours le cas en Angleterre. Pour la consommation de charbon surtout, l'armateur est souvent mal renseigné.

Un autre point important à considérer, c'est la question de la vitesse aux essais et de la vitesse en service à la mer et la proportion des dimensions des machines à celles des chaudières. Beaucoup de navires sont pourvus de machines peu avantageuses pour les armateurs parce que ceux-ci exigent de grandes vitesses aux essais, vitesses bien supérieures à celles que doit réaliser le navire en service.

L'expérience de l'auteur lui a prouvé que l'on ne peut faire produire aux chaudières, en cours de voyage, que les deux tiers de ce qu'elles ont pu donner aux essais. Ainsi par exemple, pour un jeu de chaudières ayant pu, dans de bonnes conditions, développer 3000^{chx} aux essais, l'armateur ne devra pas compter sur un développement moyen de plus de 2000^{chx} en cours de voyage. On obtient quelquefois plus, dans des conditions spéciales et dans les climats tempérés, mais c'est le maximum pour la navigation dans les pays chauds. Il est donc inutile de faire des machines trop grandes relativement à la puissance que développent les chaudières en cours de voyage.

Si l'armateur désire une vitesse d'essai qui puisse lui prouver, non seulement la puissance des machines, mais aussi celle des chaudières et, si le nombre des chaudières est suffisant pour que l'on puisse en isoler une partie, il sera bon de faire l'essai avec les deux tiers des chaudières allumées, c'est-à-dire que, s'il y a trois chaudières, l'essai ne devra être fait qu'avec deux et sans allumer les feux de la troisième. Il est arrivé que, même avec une machine compound, lorsqu'elle fonctionne avec faible puissance, son efficacité est sensiblement réduite. Pour une machine à triple expansion, cet inconvénient est encore plus sensible, car, plus il y a d'expansion, plus la proportion d'inefficacité est grande.

M. A. Denny, traitant ensuite la question de la vitesse aux essais et la proportion de la dimension des machines à celles des chaudières, fit savoir qu'on lui avait proposé récemment un problème dans lequel il s'agissait de faire réaliser à un navire une vitesse de 19 nœuds aux essais, alors que la vitesse en service ne devait être que de 12 nœuds, c'est-à-dire que la proportion de la puissance à grande et à petite vitesse était dans le rapport de 5 à 1. Or, l'expérience a prouvé aux armateurs combien cette méthode était désavantageuse pour eux.

On a préconisé beaucoup de dispositions pour augmenter l'efficacité des machines fonctionnant à faible puissance, mais M. Denny croit que le meilleur système consiste à disposer les cylindres de façon que la machine fonctionne à triple expansion pour les grandes puissances et à quadruple expansion pour les faibles puissances. Ce cas se présente souvent pour les navires

de guerre. Un autre constructeur anglais, M. Inglis, a prouvé que les résultats obtenus en transformant une machine à triple expansion en machine compound, pour arriver au même but, laissait beaucoup à désirer.

L'auteur du Mémoire appela aussi l'attention de ses auditeurs sur un point qu'il considère comme très important, c'est-à-dire sur la *classification des navires*. Il a été souvent interrogé par des armateurs qui désiraient savoir s'ils devaient faire classer leurs navires à tel ou tel Registre de classification ou bien s'ils pouvaient s'en dispenser. M. Denny reconnaît que le plus grand nombre des navires construits dans ses chantiers n'ont pas été surveillés par des Sociétés de classification et que certaines grandes Compagnies ne font pas classer leurs paquebots. Les petits armateurs, au contraire, trouvent qu'ils ont avantage à le faire. Son opinion est que tous les navires doivent être classés, maintenant que la ligne de charge est rendue obligatoire, parce que la détermination de cette ligne oblige moralement l'armateur à faire classer son navire. Actuellement, les quatre autorités qui sont autorisées à procéder à la détermination de la ligne de charge sont : le Bureau Veritas, le Lloyd's Register, la British Corporation et le Board of Trade.

Elles déterminent les francs-bords des navires classés ou non classés, mais l'effet des règles et tables de franc-bord est qu'aussitôt la ligne de charge déterminée par l'une de ces quatre autorités, le navire est virtuellement classé par elle, car il est obligé, à certains intervalles, d'être inspecté pour voir s'il n'a pas été endommagé depuis l'époque où sa ligne de charge a été fixée. C'est pourquoi l'on peut dire que tous les navires anglais devront être classés à l'avenir. Il reste à l'armateur le soin de choisir celle de ces quatre autorités qui lui convient le mieux, et sous ce rapport M. Denny estime que les armateurs doivent encourager les différentes Sociétés de classification pour éviter de créer un monopole dangereux en faveur de l'une d'elles.

Il se prononça ensuite pour la réorganisation du Board of Trade afin de le mettre plus en harmonie avec les exigences du commerce maritime actuel.

Il serait à désirer que les constructeurs pussent consulter souvent les journaux de bord des navires qu'ils ont construits afin de se rendre compte de leurs qualités ou de leurs défauts, mais il est indispensable que ces journaux de bord soient tenus de façon que les constructeurs y trouvent les renseignements qui peuvent leur être utiles, surtout pour le rendement des machines, la vitesse moyenne et la consommation du charbon.

Dans la discussion qui suivit la lecture de cet intéressant Mémoire, M. Daymard, ingénieur en chef de la Compagnie Générale Transatlantique, prit la parole pour approuver chaleureusement l'opinion émise par M. Denny au commencement de son Mémoire. M. Daymard estime qu'une collaboration complète doit exister entre le constructeur d'un navire, l'armateur, le capitaine et l'équipage et, sur les paquebots transatlantiques, avec le chef mécanicien. La manœuvre du navire, ses bonnes conditions et sa conduite en cours de voyage dépendront beaucoup de cette sorte d'alliance entre le constructeur,

l'armateur, le capitaine et le chef mécanicien. Il y a vingt ans, lorsqu'il entra au service de la Compagnie Transatlantique, il s'efforça d'initier les officiers aux dimensions, aux divers appareils et aux règlements concernant leur navire, et l'expérience a prouvé que ces connaissances étaient particulièrement utiles lorsqu'un capitaine venait à être remplacé subitement par un autre officier.

Dans la discussion qui suivit la lecture du Mémoire de M. Seaton sur les lignes de paquebots reliant l'Angleterre au continent, M. Daynard appela, avec beaucoup d'à-propos, l'attention du Congrès sur les beaux résultats obtenus par le paquebot français à deux hélices, la *Seine*, qui fait le service de Dieppe à Newhaven et dont M. Seaton avait oublié de parler.

Ce navire a été construit au Havre par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, qui a livré depuis un paquebot semblable, la *Tamise*, appartenant également à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest.

La *Seine* est un paquebot de 918^{ix} de jauge brute et de 4000^{chx} qui fait, dans les bonnes circonstances, le trajet de Dieppe à Newhaven en trois heures et quart, c'est-à-dire à la vitesse de 20 nœuds. La *Tamise* a donné des résultats encore supérieurs à ceux de la *Seine*, car elle a pu effectuer ses deux premiers voyages avec une vitesse moyenne de 21 nœuds et demi, ce qui en fait le plus rapide des paquebots français.

Il était bon de rappeler à nos voisins d'Outre-Manche qu'ils n'ont pas le monopole de la construction des paquebots rapides, d'autant plus qu'aucun des paquebots anglais affectés aux services reliant l'Angleterre au continent ne réalise une vitesse égale à celle de nos paquebots *Seine* et *Tamise*.

A ce propos, nous ferons remarquer, en terminant, que c'est à notre Compagnie des Messageries maritimes que revient l'honneur d'effectuer le service postal le plus rapide entre l'Europe et l'Australie. En effet, d'après le dernier rapport du directeur général des postes de la province de Victoria, la durée moyenne du transport des malles anglaises effectué par les paquebots des quatre grandes Compagnies postales, qui desservent le port de Melbourne, a été la suivante :

	De Londres à Melbourne.	De Melbourne à Londres.
	j h m	j h m
Messageries maritimes.....	30. 17. 41	31. 0. 0
Péninsulaire et Orientale.....	33. 8. 39	32. 4. 2
Orient S. S. Co.....	32. 9. 11	32. 8. 58
Norddeutscher Lloyd, de Brême.....	35. 0. 0	36. 0. 0

Nous espérons que la Compagnie des Messageries maritimes continuera à rester au premier rang, malgré la prochaine entrée en ligne du paquebot *Caledonia*, de 7500^{ix} et de 11 000^{chx}, que la Compagnie péninsulaire et orientale fait construire actuellement à Greenock dans le but de surpasser en vitesse les paquebots des Compagnies rivales.

Discussion du Mémoire de M. Muller.

M. DAYMARD remercie M. Muller d'avoir appelé l'attention de l'Association sur les intéressants travaux du Congrès de Londres. Il tient à insister particulièrement sur l'importante question du tirant d'eau des ports de commerce, qui a fait l'objet d'un vœu au Congrès international, et il ne doute pas qu'il en soit de même de la part de l'Association technique maritime. Après la lecture du Mémoire de M. Biles, les Anglais ont reconnu que l'insuffisance de tirant d'eau dans les ports était un sérieux obstacle au progrès de la navigation, puisque la longueur des navires, qui est proportionnelle, *grosso modo*, au tirant d'eau, se trouve limitée, par le fait même. Ainsi, l'on n'a pas pu donner à la *Campania* le tirant d'eau qu'elle devrait avoir. Comme l'avait déjà fait remarquer M. Daymard au Congrès international, nous avons en France, bien plus encore qu'en Angleterre, à nous plaindre de l'état de choses actuel. Aucun des grands *liners* anglais ne pourrait entrer au Havre. Les Compagnies françaises font les plus grands efforts pour soutenir la concurrence; mais une condition essentielle du succès consiste dans l'approfondissement des ports, qui pourra seul leur permettre d'augmenter les vitesses actuelles. En ce qui concerne le Havre, des projets ont été étudiés et sont depuis nombre d'années entre les mains des pouvoirs publics. Il est à désirer qu'ils aboutissent au plus tôt. Le *desideratum*, au Havre, est que l'on puisse disposer d'un tirant d'eau de 8^m, 50 au moins pendant plusieurs heures de marée.

L'Association technique maritime s'associe au vœu de M. Daymard à l'unanimité des membres présents.

DE
L'EMPLOI DE L'ALUMINIUM DANS LES CONSTRUCTIONS NAVALES,

PAR M. V. GUILLOUX,
Ingénieur de la Marine.

Dès l'apparition de l'aluminium dans l'industrie, sa légèreté et son apparente inaltérabilité frappèrent les métallurgistes et les ingénieurs. L'emploi du nouveau métal dans la construction navale fut indiqué comme débouché futur et certain. Un certain nombre d'études ont même été faites dans le but de déterminer en quoi la substitution de l'aluminium au fer et à l'acier influerait sur les types de navire, sur la vitesse, sur la taille et sur le prix de revient. Je citerai la plus complète de toutes, celle que M. Hauser, Ingénieur de la Marine, a publiée dans le premier Bulletin de l'*Association technique maritime*, en 1890.

Mais, à cette époque, on connaissait assez peu les propriétés de l'aluminium intéressant la construction navale : aucun essai de fabrication des matériaux propres à la construction métallique n'avait été fait. De plus, le prix élevé de l'aluminium à cette époque, 20^{fr} le kilogramme, et sa rareté interdisaient toute expérience de quelque importance. Depuis, les procédés de fabrication de l'aluminium se sont considérablement perfectionnés et son prix a diminué notablement.

Enfin, quelques expériences de construction en aluminium ont été réalisées. De riches particuliers, curieux de nouveauté et de progrès, ont consacré des sommes considérables à la construction de bateaux en aluminium. Le gouvernement français, désireux d'étudier tout ce qui peut contribuer au progrès de notre Marine, vient d'ordonner la construction, dans un de nos arsenaux, d'une petite embarcation en aluminium et de commander en Angleterre un canot torpilleur en aluminium. Enfin, l'Administration des Colonies a fait construire des chalands démontables en aluminium pour les missions d'exploration en Afrique.

La construction en aluminium entre donc dans une phase de réalisation pratique. Ayant contribué à une de ces expériences de construction, je crois.

utile de décrire, autant que mes propres observations me l'ont appris, les propriétés de l'aluminium intéressant la construction navale, d'étudier de quelle façon ces propriétés permettent de l'utiliser et quels avantages peuvent en résulter.

Propriétés de l'aluminium. — L'aluminium pur est un métal blanc, un peu mat, susceptible d'un beau poli. Fondu, sa densité est de 2,56. Cette densité augmente un peu par forgeage ou laminage et atteint alors jusqu'à 2,7, c'est-à-dire 34 pour 100 de celle du fer ou de l'acier.

L'aluminium fond à une température comprise entre 600° et 700°, tandis que l'acier fond entre 1300° et 1400° et le cuivre à 1050°. Sa chaleur spécifique et sa chaleur latente de fusion sont très considérables. Sa conductibilité à la chaleur est de 34 à 0° et de 36 à 100°. Elle est double de celle du fer et environ moitié de celle du cuivre. L'aluminium possède un coefficient de dilatation plus que double de ceux du fer et de l'acier. Lors de sa solidification après fusion, le retrait est de 1,8 pour 100.

A l'air sec ou humide et à la température ordinaire, l'aluminium est plus inaltérable que tous les autres métaux, sauf l'or et le platine. Fondu à l'air libre, il se recouvre d'oxyde qui protège le métal intérieur. Ce n'est qu'au rouge que l'oxydation est sensible. Au rouge vif, il agit comme un réducteur très énergique. A ce titre, il est employé dans la métallurgie pour la purification des autres métaux.

L'eau pure n'attaque pas l'aluminium, la vapeur d'eau ne commence à l'attaquer qu'au rouge. L'eau de mer ne l'attaque pas à la température ordinaire. La présence d'autres métaux, fer, zinc, plomb, ne détermine, dans ces conditions, qu'une attaque presque insensible.

L'aluminium est très facilement attaqué par l'acide chlorhydrique et par les alcalis caustiques. L'acide azotique, l'acide sulfurique et les acides organiques ne l'attaquent que faiblement.

Propriétés mécaniques de l'aluminium pur. — L'aluminium pur est un métal extrêmement mou, dénué d'élasticité. Fondu, il possède une structure cristalline. Sa résistance à la rupture varie de 10^{ks} à 14^{ks} par millimètre carré, avec un allongement correspondant de 15 à 17 pour 100.

Par forgeage ou laminage à froid, le métal s'écrouit, sa résistance à la rupture augmente jusqu'à 18^{ks} ou 19^{ks}, l'allongement diminue d'une façon très considérable, jusqu'à 3 pour 100 et même 2 pour 100. Lorsqu'il est écroui, la cassure devient fibreuse, soyeuse même ou à grain très fin.

L'écrouissage disparaît par recuit. Il disparaît complètement à 300°. Lorsque le métal n'est que partiellement écroui, l'écrouissage disparaît à une température beaucoup plus basse. Il est possible d'obtenir tous les états intermédiaires entre le métal recuit et le métal écroui.

Comme tous les métaux mous, l'aluminium se chaudronne et s'étampe fa-

cilement. Il se forge à froid ou à chaud, s'étire en fils et en tubes. On le coule assez aisément, mais, pour que les pièces présentent une résistance appréciable, il est nécessaire qu'elles soient coulées en coquille, les pièces coulées en sable étant toujours plus ou moins spongieuses.

L'aluminium se soude mal par suite de la présence sur la surface du métal, même à l'état ordinaire, d'une couche infiniment faible d'alumine irréductible. La grande conductibilité électrique du métal empêche la soudure électrique. Un inventeur, M. Stanischich, prétend néanmoins souder parfaitement l'aluminium avec une soudure de sa composition et en employant comme fondant le métaphosphate de soude.

Soit à l'état recuit, soit à l'état écroui, l'aluminium pur ne possède pas une élasticité suffisante pour rendre possible son emploi dans les constructions métalliques destinées à supporter des efforts de quelque importance. Son élasticité de flexion et de torsion est trop faible. Il prend trop facilement des déformations permanentes.

Alliages d'aluminium. — Le manque de résistance de l'aluminium pur a depuis longtemps conduit à chercher des alliages possédant les qualités mécaniques qui manquent au métal pur. Ces alliages sont de deux sortes : ceux dans lesquels la proportion de matières étrangères est assez faible pour ne pas accroître d'une façon appréciable la densité du métal et ceux, au contraire, dans lesquels l'aluminium n'entre que dans une faible proportion et dont la densité ne diffère pas sensiblement de celle des autres métaux employés dans l'industrie.

La première série comprend les alliages au silicium, à l'argent, au titane, au nickel et au cuivre. Tous ces corps en quantité plus ou moins grande communiquent de la dureté et de l'élasticité au métal.

Le silicium en quantité appréciable le rend aigre, cassant et d'un emploi pratique presque impossible. Il est d'ailleurs assez difficile de déterminer exactement l'action du silicium, car presque tout l'aluminium vendu dans le commerce contient de petites quantités de silicium et de fer.

L'argent donne un alliage supérieur comme élasticité à l'aluminium, mais dont le prix en limite l'emploi à l'orfèvrerie.

Le titane et le nickel l'améliorent également dans une certaine proportion. Mais les seuls alliages à faible densité fabriqués industriellement aujourd'hui et suffisamment connus sont les alliages à faible quantité de cuivre. La teneur en cuivre varie de 0 à 6 pour 100. A mesure qu'elle croît, la dureté et l'élasticité du métal augmentent, mais son inaltérabilité aux agents atmosphériques et sa résistance à l'action de l'eau de mer et même de l'eau douce et des acides diminue.

La conductibilité calorifique augmente. Il devient de plus en plus cassant surtout à l'état écroui et plus difficile à travailler. La température du recuit

s'élève. Enfin la densité croît avec la quantité de cuivre, celle de l'alliage à 6 pour 100 est de 2,9.

Voici quelques résultats d'essais à la traction, faits sur des barrettes d'alliages à différentes teneurs.

Alliage à 3 pour 100 de cuivre. A l'état recuit, la résistance à la rupture est de 18^{kg} par millimètre carré et l'allongement de 16 pour 100. A l'état écroui, la résistance est de 22^{kg} tandis que l'allongement descend à 3,7 pour 100.

Ces chiffres doivent être pris surtout comme des moyennes d'expériences propres à servir de termes de comparaison avec celles faites sur d'autres métaux. Ils sont la moyenne de résultats obtenus sur des barrettes de formes différentes, rondes et plates, et dont la composition chimique n'était peut-être pas très comparable par suite des impuretés.

L'alliage à 3 pour 100 possède une élasticité appréciable surtout lorsqu'il est écroui.

C'est l'alliage d'aluminium à 3 pour 100 de cuivre qui fut employé pour les deux premiers bateaux en aluminium, le *Zéphyr* et le *Mignon*, construits à Zurich par la maison Escher Wyss, sous la direction de M. l'Ingénieur Reitz.

L'alliage à 3 pour 100 de cuivre résiste très bien aux agents atmosphériques. L'eau douce ne l'attaque pas. Après plusieurs mois de séjour dans la Limmat, les carènes non recouvertes de peinture du *Zéphyr* et du *Mignon* ne présentaient aucune trace d'oxydation.

Il doit cependant se produire une certaine usure, le frottement de l'eau tendant à détacher la couche infiniment mince d'alumine qui se forme à la surface de l'aluminium sous l'action de l'air et de l'eau.

Au contact de l'eau de mer l'alliage à 3 pour 100 de cuivre s'attaque sensiblement : il serait impossible de laisser sans protection la surface de la carène d'un bateau destiné à naviguer sur mer.

L'alliage à 6 pour 100 de cuivre possède des propriétés mécaniques supérieures à celles de l'alliage à 3 pour 100. Des essais faits sur des barrettes découpées dans des tôles de 3^{mm} d'épaisseur ont donné les résultats suivants :

	Résistance.	Allongement.
	^{kg}	^{pour 100}
Métal recuit après laminage.....	18	16
» » 	17,1	17,50
» » 	19	15
Métal tel qu'il sort du laminoir.....	25	4,67
» » 	24,6	4,1
» » 	26,7	4,3
Métal chaudronné à froid après laminage....	27,5	4
» » 	25,5	5

La façon dont le laminage est effectué influe sur les chiffres précédents; des barrettes prises dans des tôles après laminage sans recuit ont donné 26,7 de résistance et 1,5 d'allongement. En poussant l'écrouissage à la limite

extrême par laminage à froid, on dépasse 30^{ks} comme résistance à la rupture en conservant 1,5 d'allongement.

La résistance à la rupture au cisaillement varie de 15^{ks} à 20^{ks}.

La charge correspondant à la limite d'élasticité paraît varier de 4^{ks},5 à 5^{ks} par millimètre carré. Elle ne paraît pas varier d'une façon bien appréciable quand on passe du métal recuit au métal écroui. Cependant l'élasticité de flexion et l'élasticité de torsion du métal écroui paraissent bien supérieures à celles du métal recuit.

Au début de la fabrication de l'alliage à 6 pour 100 de cuivre, il était assez difficile d'obtenir des matériaux de construction sans des déchets énormes. Aujourd'hui que l'aluminium est mieux connu, qu'il est obtenu industriellement presque pur, on fabrique assez facilement des tôles de toutes dimensions, des cornières, barres à rivets, etc., en un mot tous les échantillons employés dans la construction navale. De jour en jour, par suite de perfectionnements dans la métallurgie de l'aluminium, la qualité de ces matériaux s'améliore. Ces progrès ont permis la réussite de la construction du yacht *Vendénesse* à M. le comte de Chabannes La Palice. C'est l'alliage d'aluminium à 6 pour 100 de cuivre qui a été employé dans cette construction, de même que dans les chalands en aluminium pour les colonies et dans le canot-torpilleur que construit actuellement M. Yarrow.

Malheureusement, si l'alliage à 6 pour 100 de cuivre possède des propriétés mécaniques supérieures à celles de l'aluminium pur et de l'alliage à 3 pour 100, il est bien plus oxydable qu'eux. A l'air sec ou humide, mais à l'abri du contact de l'eau, il garde son poli indéfiniment; toutefois, il se recouvre d'une couche pulvérulente d'alumine que l'on aperçoit très bien lorsqu'on regarde le métal sous une certaine incidence. Cette couche n'augmente pas au delà d'une certaine limite, mais elle se renouvelle si elle vient à être enlevée pour une cause quelconque.

Exposé à la pluie ou plongé dans l'eau douce, l'alliage à 6 pour 100 s'oxyde lentement, plus lentement que le fer ou l'acier. Au bout de quelque temps, une couche d'alumine recouvre uniformément le métal, sous cette couche apparaissent de petites piqures. Peu à peu ces piqures s'étalent et finissent par se rejoindre. Une fois commencée, l'oxydation paraît marcher plus vite et pénétrer irrégulièrement dans la profondeur du métal. Néanmoins, cette oxydation est moins rapide que celle du fer. De plus, elle paraît dépendre de l'état d'écrouissage du métal et diminuer avec l'écrouissage.

L'immersion dans l'eau de mer produit une oxydation analogue, seulement plus rapide et compliquée par les phénomènes suivants :

1^o Après huit ou dix jours d'immersion, il se forme en certains points irrégulièrement répartis du métal des taches noires qui deviennent des centres d'oxydation plus rapides que les piqures dont nous avons parlé précédemment. Le métal se creuse plus ou moins profondément avec formation d'abondantes masses d'alumine gélatineuse. Ce phénomène est sans doute dû à l'existence

locale d'impuretés et très probablement à la présence de silicium à l'état graphitoïde. Le même genre d'attaque s'observe d'ailleurs dans certaines tôles de fer ou d'acier.

2° Dans la partie au-dessus de l'eau, il se forme un dépôt de sel déliquescent qui attaque fortement le métal jusqu'à la flottaison. Dans de nombreux essais faits sur des éprouvettes à demi plongées dans l'eau de mer, la partie hors de l'eau s'est toujours oxydée dans le voisinage de la flottaison au moins deux fois plus vite que la partie immergée.

La présence du plomb, et surtout celle du zinc, paraît diminuer la rapidité avec laquelle l'aluminium s'oxyde. Lorsqu'on immerge les trois métaux ensemble dans l'eau de mer, c'est le zinc qui s'oxyde tandis que l'aluminium demeure presque indemne.

La température paraît exercer une influence considérable sur l'oxydation par l'eau de mer de l'aluminium à 6 pour 100 de cuivre. A 20° ou 25°, l'attaque est beaucoup plus rapide qu'à 15°.

Il est à peu près impossible de donner des chiffres mesurant exactement l'importance de toutes ces attaques à cause de l'adhérence des dépôts d'alumine dans les cavités du métal.

Étant donnée l'oxydabilité de l'alliage à 6 pour 100 à l'eau de mer, il est donc nécessaire de protéger les parties métalliques exposées au contact de l'eau par un enduit ou une peinture appropriée.

Les premières expériences faites ont prouvé que la première qualité à exiger d'un enduit destiné à protéger l'aluminium contre l'attaque de l'eau de mer devait être une imperméabilité absolue.

En effet, si peu que l'eau de mer pénètre l'enduit, il se forme immédiatement à la surface du métal une couche d'alumine gélatineuse qui annule complètement l'adhérence sur toute la surface.

Tout enduit destiné à protéger la carène d'un bateau devant naviguer à la mer doit donc présenter les qualités suivantes :

- 1° Adhérer sur un métal très poli;
- 2° Être d'une imperméabilité absolue;
- 3° Empêcher, autant que cela est possible, l'adhérence des coquillages et herbes marines.

Un certain nombre de compositions ont déjà été expérimentées. Des expériences de laboratoire concluantes ont conduit à la peinture dont a été recouvert le *Vendénisse*, mais ce n'est qu'après quelque temps de navigation à la mer que l'on pourra se prononcer définitivement.

Lorsque, dans l'alliage d'aluminium et de cuivre, on augmente la teneur en cuivre, on obtient des métaux plus durs que l'alliage à 6 pour 100, mais qui s'écrouissent trop et sont très difficiles à travailler. Néanmoins, les alliages à 8 et 10 pour 100 méritent d'être étudiés et paraissent susceptibles d'un certain nombre d'applications industrielles.

Au delà de 10 pour 100, la densité augmente beaucoup plus vite que les

qualités de résistance mécanique. Au delà de 50 pour 100, on obtient les bronzes d'aluminium. Ces bronzes sont remarquables par leur homogénéité, leur inaltérabilité et leur résistance. Le bronze à 10 pour 100 d'aluminium possède une résistance à la rupture de 70^{kg}, une limite d'élasticité correspondant à une charge de 50^{kg} et un allongement de 5 pour 100.

Les bronzes d'aluminium sont déjà employés dans la construction des machines, chaudières, hélices, etc., mais leur prix empêchera toujours de s'en servir d'une façon générale dans la construction. Ils sont moins résistants que les aciers durs et beaucoup plus chers.

Du résumé sommaire qui vient d'être fait des propriétés de l'aluminium et de ses alliages, il ressort que le principal avantage que l'emploi de ce métal peut procurer dans une construction est la légèreté. Quoique moins oxydable que le fer ou l'acier, il faudra néanmoins le protéger extérieurement et intérieurement. De plus, sa conductibilité calorifique rend les revêtements intérieurs encore plus nécessaires dans une coque en aluminium que dans une coque en fer.

Emploi de l'aluminium dans la construction. — Examinons maintenant jusqu'à quel point l'emploi de l'aluminium peut procurer une diminution de poids. Cherchons d'abord si, théoriquement, il est possible de construire une carène en alliage d'aluminium à 6 pour 100 de cuivre plus légère et aussi résistante qu'une carène analogue de fer ou d'acier.

Le Tableau ci-dessous résume les chiffres mesurant les propriétés mécaniques de l'aluminium 6 pour 100, du fer, de l'acier doux et de l'acier dur.

	Densité.	Charge de rupture.	Allongement.	Limite élastique.
		kg	pour 100	kg kg
Aluminium 6 pour 100	2,9	27	5	5
Fer	7,8	30	30	12 à 15
Acier doux	7,8	36	30	15 à 20
Acier dur	7,8	50	15	25 à 30

Nous voyons d'abord qu'il n'y a aucune proportionnalité entre les chiffres relatifs à l'aluminium et ceux des autres métaux. Une construction en aluminium pourra donc, suivant la façon dont elle est établie, résister autant à la rupture ou atteindre sa limite élastique, ou bien absorber le même travail de rupture qu'une construction analogue de fer ou d'acier soumise aux mêmes efforts, selon que l'on choisira l'une ou l'autre de ces propriétés comme terme de comparaison; mais alors toutes les autres propriétés des deux constructions différeront dans une large limite.

Par exemple, si l'on cherche le poids de barres de même longueur de chacun des quatre métaux ci-dessus qui travailleront juste à leur charge limite

de rupture sous une même charge donnée, on trouve que ces poids sont proportionnels à

$$\frac{2,9}{27}, \quad \frac{7,8}{30}, \quad \frac{7,8}{36}, \quad \frac{7,8}{50},$$

c'est-à-dire

Pour l'aluminium.....	0,138
» le fer.....	0,26
» l'acier doux.....	0,21
» l'acier dur.....	0,156

Si l'on fait le même calcul en cherchant les poids proportionnels de barres atteignant leur limite élastique sous une même charge donnée, on trouve :

Pour l'aluminium.....	5,8
» le fer.....	5,7 à 6,0
» l'acier doux.....	5,2 à 3,3
» l'acier dur.....	3,1 à 2,6

Les mêmes chiffres pourraient servir à comparer le travail élastique.

En prenant le travail de rupture comme terme de comparaison, on trouve

Pour l'aluminium.....	2,10
» le fer.....	0,86
» l'acier doux.....	0,78
» l'acier dur.....	1

Dans une construction, les différentes pièces doivent être calculées de façon que jamais elles ne puissent dépasser leur limite élastique. C'est donc cette limite qui doit servir de point de comparaison entre une construction en aluminium et une construction en fer ou acier.

Les chiffres précédents prouveraient donc qu'à égalité de limite élastique la construction d'aluminium pèserait un peu plus lourd que celle de fer et presque le double de celle d'acier dur.

Ce résultat a besoin d'être commenté. Dans la pratique, on ne calcule pas les pièces d'une construction de telle sorte qu'elles travaillent à leur limite d'élasticité, mais plutôt de façon que leur charge en service demeure toujours plus faible qu'un coefficient de sécurité reconnu suffisant. La pratique n'a point encore fixé de coefficient analogue pour l'aluminium. Le rapport entre ce coefficient et la limite élastique sera-t-il plus ou moins grand que pour le fer ou l'acier? Diverses considérations permettent d'avancer qu'il sera supérieur.

L'aluminium étant plus mou que le fer ou l'acier, la limite d'élasticité de ses assemblages se montrera probablement plus voisine de la limite d'élasticité des pièces homogènes. En outre, la grande différence entre sa limite élastique et sa charge de rupture permet évidemment d'approcher sans aucun danger plus près de sa limite élastique. En admettant même que cette limite

élastique soit un peu dépassée, les propriétés du métal seraient beaucoup moins altérées que s'il s'agissait du fer ou de l'acier.

D'un autre côté, à limite égale d'élasticité, une construction en aluminium résistera moins bien aux chocs, aux efforts locaux, aux efforts d'inertie qui peuvent résulter d'un changement rapide dans la répartition des charges, par exemple dans le cas d'une carène passant à travers des vagues successives.

Somme toute, d'une manière générale, même en faisant abstraction de tous les inconvénients qu'une pratique plus étendue pourrait faire découvrir, il ne semble pas que la substitution absolue de l'aluminium à 6 pour 100 de cuivre au fer et à l'acier puisse produire à résistance égale un sérieux bénéfice de poids.

Mais, en dehors de la substitution complète, il est une foule de cas dans lesquels l'alliage d'aluminium à 6 pour 100 peut être employé avec grand avantage.

1^o Dans les constructions où les échantillons de matériaux sont déterminés non en vue des forces à vaincre, mais plutôt par la nécessité de résister aux chocs locaux, accostages, etc., ou simplement à l'usure. Toutes les embarcations de bord en bois sont dans ce cas, de même les chaloupes à vapeur, les canots vedettes, les canonnières de rivière, les petits torpilleurs, etc. Dans les plus petits de ces bateaux, il suffirait de remplacer purement et simplement le fer ou l'acier par des matériaux d'aluminium de même échantillon. Dans les autres, il suffirait amplement de conserver en fer ou acier la quille, l'étrave, l'étambot, une cornière préceinte et le carlingage de machine, le reste pourrait être en aluminium de même échantillon ou s'il est besoin un peu plus fort. En adoptant un bordé d'aluminium une fois et demie plus fort que le bordé en tôle, on obtiendrait encore un gain de poids considérable, 55 pour 100 sur cette partie de la coque.

Les deux premiers bateaux en aluminium, le *Zéphyr* et le *Mignon*, construits à Zurich, sont des embarcations munies de moteur à pétrole dans lesquelles on a complètement remplacé le fer par l'aluminium. Le *Zéphyr* est un youyou de 5^m,15 de long, 1^m,30 de large, 0^m,70 de creux. Son bordé a 1^{mm},5 d'épaisseur, sa coque pèse 120^{kg}, il porte une machine de 2^{chx}. Le *Mignon* a 12^m à la flottaison, 14^m sur le pont, 1^m,80 de largeur, 1^m de creux, son bordé a une épaisseur de 1^{mm},5 et 2^{mm}, ses membrures sont des cornières de 20 × 20 et 30 × 30; il est demi-ponté et muni de caissons étanches et de cloisons étanches en aluminium. Sa coque pèse 500^{kg}. Il est muni d'une machine de 6^{chx} tournant à une vitesse de 300 à 400 tours par minute. Son déplacement atteint 1^t,5, sa vitesse est de 14^{km}. Il ferait une admirable vedette.

Il y a beaucoup plus d'intérêt qu'on ne pourrait le penser *a priori* à diminuer, par l'emploi de l'aluminium, le poids des bateaux de service embarqués à bord des grands navires. Cet allègement entraîne, en effet, une diminution correspondante dans le poids si considérable des bossoirs, treuils et chariots de manœuvre, etc. De plus, il faciliterait singulièrement beaucoup de manœuvres à bord.

L'aluminium peut recevoir des applications beaucoup plus étendues. Dans une coque de navire, il existe un grand nombre de parties qui travaillent peu ou point. Si l'on considère, en particulier, des coques très fines, très légères, devant surtout résister à la flexion longitudinale, certaines parties du bordé, les membrures, les planchers, les cloisons transversales, les roofs, etc., ne contribuent point à la résistance longitudinale. Cependant, pour toutes sortes de raisons, il est impossible de réduire outre mesure les échantillons des pièces qui les composent. En remplaçant, dans toutes ces parties, le fer par l'aluminium, on obtiendra un gain de poids considérable. Il est possible d'aller beaucoup plus loin encore. On peut, en effet, remplacer la construction actuelle en fer ou acier par une construction composite dans laquelle la résistance à la flexion, ou la résistance transversale selon le mode de fatigue particulier de la coque considérée, la répartition ou plutôt l'irradiation des efforts seraient assurées par une ossature interne en acier. L'aluminium compterait alors assez peu dans la résistance de la construction et servirait à former le revêtement extérieur grâce auquel flotterait le tout.

C'est ce système que j'ai employé dans la construction du yacht *Vendénese*, appartenant à M. le comte de Chabannes la Palice et construit à l'usine de la Société des Chantiers de la Loire, à Saint-Denis. C'est dans un ordre d'idées analogue qu'a été conçu le torpilleur vedette que M. Yarrow construit en ce moment pour le gouvernement français.

Le *Vendénese* est un yacht de course à voiles dont les dimensions principales sont les suivantes :

Longueur totale.....	17,40 ^m
Longueur à la flottaison.....	12
Largeur.....	2,85
Tirant d'eau.....	2,60
Déplacement.....	15 ^{tn}

La coque repose sur une quille plate en fer forgé de 60^{mm} d'épaisseur sur laquelle est rivée une armature en tôles et cornières d'acier qui supporte le lest. L'étrave et l'étambot sont également en fer forgé et sont réunis à la quille par de larges pattes. L'ossature d'acier est complétée par une bande de galbord en acier de 3^{mm} d'épaisseur qui se prolonge le long de l'étrave et de l'étambot; une virure de préceinte et une virure gouttière en acier réunies par une cornière d'acier; un certain nombre de membrures et de barrots en acier; deux cornières de lisse longitudinales placées à l'intérieur et réunies à toutes les membrures, et enfin trois bandes obliques en acier placées entre les membrures et le bordé. Les bandes obliques sont inclinées, une sur l'avant, deux sur l'arrière. Elles portent des porte-haubans et relient la virure de préceinte aux galbords.

Le bordé de carène entre la préceinte et le galbord, le bordé de pont à l'intérieur des virures gouttières, une partie des membrures et des barrots et les

deux cloisons transversales étanches sont en aluminium. Les tôles de borde ont une épaisseur de 4^{mm} et de 3^{mm}; les cornières en aluminium ont un échantillon de 40 × 40 × 4, les tôles qui forment les cloisons n'ont que 2^{mm} d'épaisseur.

Le poids de coque du *Vendenesse*, non compris la quille qui forme lest, s'élève à 2700^{kg} environ.

Le torpilleur vedette construit dans les chantier Yarrow a environ 18^m de longueur, 3^m de largeur et 1^m,20 de tirant d'eau. Son déplacement s'élève à 13^{tx} environ, ses échantillons sont un peu plus faibles que ceux du *Vendenesse*.

Ce genre de construction composite dont nous venons de donner un aperçu sommaire est probablement susceptible de s'appliquer avec avantage, au point de vue de la légèreté, à des bateaux beaucoup plus grands. Considérons, par exemple, un torpilleur idéal de 130^{tx} de déplacement et dont le devis des poids se décompose comme suit :

Bordé	13,4	B
Membrures.....	4	M
Liaisons longitudinales et carlingages des machines et chaudières...	1,6	
Cloisons, roofs, capots de descente, surbaux, etc	4	C
Planchers, supports de caisses à eau, gouvernail et sa manœuvre...	4	P
Boiseries, peinture linoléum, emménagements	6	
Armement et tubes lance-torpilles	9	
Machine motrice et chaudières.....	45	
Appareils auxiliaires, éjecteurs, bouilleurs, etc	7	
Charbon, eau, vivres, etc.....	36	
Total.....	130,0	

Le poids de la partie métallique de la coque d'un pareil bâtiment s'élève à 27^{tx}, mais celui des parties qui résistent réellement et efficacement à la flexion longitudinale, cause de fatigue prépondérante pour les coques des torpilleurs, est relativement faible. On peut l'évaluer approximativement à la moitié du poids du bordé plus une tonne de liaisons longitudinales, soit 7^{tx},7 environ. En dessinant l'ossature d'acier du torpilleur de construction composite de façon que son poids soit de 7^{tx},7, il paraît possible de réaliser une sorte de poutre qui soit au moins aussi résistante à la flexion longitudinale que la carène en acier.

Évidemment, une partie du poids que nous venons d'assigner à cette ossature sera absorbé par des pièces de liaison entre ses parties supérieure et inférieure, par les carlingues des machines et des chaudières, de sorte que son moment d'inertie (mesure de sa résistance à la flexion longitudinale) sera inférieur à celui de la coque réduite à laquelle nous la comparons. Mais, d'un autre côté, nous pouvons masser la matière de cette ossature de façon à obtenir une poutre qui soit pratiquement d'égale résistance, et dont les sections successives ne supportent point des charges supérieures à celles supportées

par les sections les plus chargées de la coque réduite. Enfin, nous pouvons employer pour la construction de l'ossature des aciers à grande résistance, ce qui, ou bien lui assurera une rigidité supérieure à celle de la coque en acier, ou permettra de diminuer son poids. Il faut d'ailleurs remarquer que l'emploi de pareils aciers n'entraînerait aucun gain sur le poids de coque dans une construction en acier, puisqu'il serait impossible de diminuer l'épaisseur du bordé.

En ajoutant au poids 7^{ix}, 7 de l'ossature un poids de 1^t pour l'armature du gouvernail et sa transmission, on arrive à 8^{ix}, 7 pour le poids de l'acier entrant dans la coque du torpilleur composite. Si nous remplaçons toutes les autres pièces de la construction, y compris le bordé tout entier, par des matériaux en aluminium à 6 pour 100 de cuivre et de même échantillon, nous réalisons un gain de poids de

$$27 - \{ 8,7 + [B + M + (P + C - 1)] \times 0,37 \}$$

$$= 27 - [8,7 + (13,4 + 4 + 7) \times 0,37] = 9^{\text{ix}}, 27.$$

(0,37 étant le rapport entre la densité de l'aluminium et la densité du fer).

Il convient de remarquer immédiatement que, dans la comparaison précédente, nous n'avons tenu aucun compte du surcroît de résistance longitudinale que procure le bordé en aluminium. Si, à cette supposition trop pessimiste, nous substituons l'hypothèse trop optimiste que notre coque composite se comportera comme une construction homogène, nous arrivons à cette conclusion que sa résistance sera presque double de la coque d'acier. En effet, le moment d'inertie du bordé en aluminium est le même que celui du bordé en acier; or, nous avons admis que le moment d'inertie qui mesure la résistance et la flexion longitudinale de l'ossature était sensiblement égal à ce dernier. Une hypothèse comprise entre les deux précédentes serait évidemment plus conforme à la réalité des choses, mais l'expérience seule peut la déterminer.

Quoi qu'il en soit, en ne considérant les calculs précédents que comme de grossières approximations, il n'en découle pas moins d'une façon à peu près certaine qu'en adoptant pour le bâtiment considéré une construction composite moitié fer et moitié aluminium, nécessitant environ 9^{ix} d'aluminium, on réaliserait sur la coque métallique une économie de poids de 9^{ix} à 10^{ix}, c'est-à-dire 34 à 37 pour 100 du poids total.

Ce gain de poids permet soit d'augmenter le poids de l'appareil moteur, c'est-à-dire sa puissance et sa vitesse, soit d'employer des chaudières plus lourdes et d'un fonctionnement plus certain, soit enfin d'accroître l'approvisionnement de charbon, c'est-à-dire le rayon d'action et la puissance militaire du bâtiment. En supposant que le rapport du poids de l'appareil moteur à la puissance et l'utilisation totale demeurent constants, un accroissement de poids de 10^{ix} de l'appareil moteur entraînerait une augmentation de vitesse de 3 nœuds.

La construction composite que nous venons d'esquisser donne immédiatement prise aux objections suivantes. Les matériaux d'aluminium ne supporteront-ils pas de charges trop considérables pour que les assemblages conservent leur étanchéité? Ces assemblages résisteront-ils également à l'effet des vibrations causées par les trépidations de la machine et la rotation de l'hélice?

Il est à peu près impossible de discuter à fond de pareilles questions, que seule la pratique peut trancher d'une façon définitive.

Cependant, les considérations suivantes montrent qu'il ne faudrait pas attacher trop d'importance à la première objection, au moins dans les torpilleurs de taille analogue à celui que nous avons considéré. Si, en effet, nous supposons que la coque composite travaille à la flexion longitudinale comme une construction homogène, nous savons déjà qu'elle est presque deux fois plus résistante que la coque en acier qui nous a servi de point de départ. Or la charge des parties les plus chargées de cette dernière construction ne dépasse pas 4^{ks} par millimètre carré. La charge des matériaux en aluminium placés dans les conditions les plus défavorables serait donc environ de 2^{ks} par millimètre carré, chiffre parfaitement admissible, étant donnée la limite élastique de l'alliage à 6 pour 100 de cuivre.

Si, au contraire, nous admettons que le bordé en aluminium transmette intégralement à l'ossature d'acier les efforts causés par la poussée de l'eau, les parties les plus chargées de cette dernière travailleront à 4^{ks} par millimètre carré, puisque nous avons supposé que sa résistance à la flexion était égale à celle de la coque d'acier. En conséquence, l'ossature prendra une déformation élastique qui entraînera une déformation égale des assemblages de l'ossature et du bordé, et, par suite, une déformation générale du bordé. Mais, à déformation égale, l'aluminium travaillera moins que l'acier, par suite de la différence d'élasticité des deux métaux. Il travaillera même d'autant moins qu'on aura employé un métal plus dur dans la construction de l'ossature.

En ce qui concerne les vibrations, nous ferons seulement observer qu'une coque composite aurait moins de tendance à vibrer qu'une coque homogène divisée en parties commensurables entre elles par les membrures et les cloisons transversales. L'ossature d'acier n'étant pas uniforme dans le sens de la longueur ne pourrait prendre par elle-même un mouvement vibratoire de grande amplitude. De plus, ces vibrations se propageraient difficilement dans les parties en aluminium, à cause de la faible élasticité du métal.

Évidemment, en dépit de tous les arguments favorables que l'on peut invoquer, l'application d'un système composite acier et aluminium à la construction de bâtiments aussi grands que les torpilleurs de haute mer semble *a priori* très hasardee.

Cependant, si le *Vendenesse*, d'abord, et le petit torpilleur construit par Yarrow, ensuite, donnent de bons résultats dans la pratique, j'estime que l'essai pourrait être tenté sans courir de trop grands risques.

Par suite du poids énorme du lest et de la surface de la voilure, la coque du *Vendénese* subira sous voiles des efforts considérables. En régates, le yacht sera lancé à toute vitesse, quels que soient le vent et la mer. Cet essai est donc très apte à montrer à la fois les qualités de résistance de l'aluminium et la façon dont se comportent, au point de vue de l'étanchéité, les assemblages d'aluminium sur aluminium et les assemblages d'aluminium sur acier. Le torpilleur-vedette construit par Yarrow montrera, au contraire, jusqu'à quel point les assemblages d'aluminium sont susceptibles de résister aux vibrations causées par la rotation de machines puissantes.

Dans tous les cas, rien n'est plus facile que d'étendre progressivement l'application de l'aluminium aux torpilleurs de plus en plus grands jusques enfin aux torpilleurs de haute mer. L'emploi de la construction composite acier et aluminium permettrait d'ailleurs d'obtenir sur les petits torpilleurs un gain de poids de coque et de vitesse supérieurs à ceux réalisés sur les grands. Les efforts de flexion étant très faibles sur les petites carènes, on pourrait en effet diminuer très sensiblement l'importance de l'ossature d'acier tout en conservant une résistance à la flexion très suffisante.

Emplois possibles de l'aluminium dans la construction de la coque et de la machine des grands navires. — A bord des navires de fort tonnage, l'aluminium ne pourrait évidemment jouer, actuellement du moins, qu'un rôle très secondaire. Néanmoins, une certaine partie des superstructures, des cloisons d'emménagement, de subdivisions de soutes, pourraient être faites sans aucun inconvénient en alliage d'aluminium et de cuivre. On réaliserait ainsi un gain très appréciable sur le poids de coque et l'on diminuerait dans une proportion notable le poids des hauts. Malheureusement, le prix de l'aluminium s'opposera longtemps encore à ces applications.

L'aluminium paraît également susceptible de servir à la confection d'un certain nombre de pièces de machines. Les robinets de purge, de graissage, les organes qui n'ont pas à supporter des efforts considérables, tels que les pompes à air, les pompes de cale, pourront être fabriqués en aluminium dès que l'industrie de la fonderie d'aluminium aura atteint un perfectionnement suffisant. Il paraît également possible de se servir de matériaux d'aluminium pour la fabrication des condenseurs, ou tout au moins de remplacer les tubes en laiton actuels par des tubes en aluminium. L'essai vaut certainement la peine d'être tenté. Le prix des matières premières, comme nous le verrons tout à l'heure, ne serait pas sensiblement plus élevé que le prix des matières premières usitées ordinairement, et l'économie de poids serait au moins de 50 pour 100 sur le poids total.

Jusqu'à présent, les seuls organes de machines qu'on ait essayé de confectionner en aluminium sont des pistons de cylindre à vapeur et des clapets de pompe à air. Ces applications de l'aluminium sont peut-être un peu hasardées et il est fort possible qu'elles ne donnent point d'excellents résultats. Les

chocs continuel aux^{quels} sont exposés les pistons ou les clapets exposent en effet ces pièces à se déformer très rapidement.

Prix de l'aluminium. — Après avoir montré la possibilité de l'emploi de l'aluminium dans la construction navale et les avantages théoriques qui résulteraient de cet emploi, il convient d'examiner à présent quel prix il faudrait payer ces avantages. Le surcroît de dépense occasionné par la substitution totale ou partielle de l'aluminium à l'acier peut provenir de deux causes : d'abord le prix plus élevé des matières premières ; ensuite une certaine augmentation du prix de la main-d'œuvre causée par la complication inhérente au système de construction lui-même.

Quoi qu'on fasse, une construction composite, moitié acier, moitié aluminium, sera toujours un peu plus compliquée qu'une construction homogène. De ce fait résultera forcément un certain accroissement dans les dépenses de main-d'œuvre. Mais, d'un autre côté, d'après ce qui a été observé pendant la construction du *Vendénese*, il ressort nettement que le travail des matériaux d'aluminium, une fois que les ouvriers ont acquis une certaine pratique, est bien plus économique que le travail des matériaux d'acier. Le travail des matériaux d'aluminium ne nécessite, en effet, qu'un outillage rudimentaire. Le perçage, le rabotage, le formage s'effectuent avec la plus grande simplicité. Les transports, le montage n'entraînent que des frais insignifiants. *Grosso modo*, il est donc permis d'admettre que le bénéfice réalisé sur le travail et la mise en place des matériaux en aluminium compense ou à peu près le surcroît de dépense occasionné par une complication plus grande de la construction. L'excès du prix d'une coque composite en acier et aluminium proviendra donc presque uniquement du prix de l'aluminium lui-même. Ce prix ayant varié d'une façon considérable dans un très court espace de temps, nous ne saurions mieux faire que de donner ses différents prix de vente jusqu'à ce jour et d'indiquer les causes qui pourront le faire varier encore dans l'avenir.

En 1889, au début de sa fabrication, l'usine de Froges vendait l'aluminium en lingots au prix de 100^{fr} le kilogr. En 1890, ce prix descendait à 30^{fr}, au commencement de 1891 à 20^{fr}, et à la fin de 1891 à 12^{fr}. Dans le courant de 1892, un nouvel abaissement de tarif se produisit, le prix du métal en lingot fut fixé à 8^{fr} et dans le courant de 1893 ce tarif fut encore abaissé à 6^{fr},50 et même 6^{fr},25 le kilogr. Actuellement, il est sur le point d'être réduit à 5^{fr}. Dans ces conditions, tous les matériaux nécessaires à la construction navale, tôles, cornières, barres à rivets, etc., pourraient être fournis à des prix variant entre 6^{fr} et 8^{fr} le kilogr.

A ce prix, les matériaux en aluminium ou en un alliage léger d'aluminium et de cuivre sont, à volume égal, aussi chers que les matériaux en cuivre et huit à dix fois plus chers que les matériaux d'acier. C'est donc dire qu'actuellement l'aluminium ne saurait être employé que lorsqu'il est nécessaire d'ob-

tenir à tout prix une extrême légèreté. C'est le cas des torpilleurs de toutes catégories, des bateaux à faible tirant d'eau destinés au service des colonies, des yachts de course, etc.

La coque du torpilleur que j'ai pris comme exemple coûterait en construction composite environ 60 000^{fr} de plus qu'en acier, c'est-à-dire qu'elle reviendrait au double du prix actuel. Même en ajoutant à cette somme l'augmentation de prix de l'appareil moteur plus puissant, la construction composite en acier et aluminium est encore à mon avis le moyen le plus économique d'augmenter notablement la vitesse de nos torpilleurs. Nous avons vu que la construction composite acier et aluminium appliqué à notre modèle actuel de torpilleur de haute mer permettait un accroissement de 3 nœuds; on dépasserait donc de suite la vitesse non encore réalisée de 30 nœuds.

Au prix actuel de l'aluminium, le prix des robinets, des condenseurs, des pièces de machine en aluminium ne serait guère plus élevé que celui des mêmes pièces en bronze ou en laiton.

La marche extraordinairement décroissante du prix de l'aluminium dans l'espace des quatre dernières années rend très probable un abaissement de prix assez sensible dans un avenir rapproché. Cet abaissement peut être produit par deux causes : l'accroissement de la production et le perfectionnement de la fabrication de l'aluminium.

Avec les procédés employés actuellement, le prix de revient de l'aluminium est d'environ 3^{fr} le kilogr. Le seul jeu des forces commerciales peut donc le faire descendre à 4^{fr} et même 3^{fr},50 le kilogr. On peut espérer que les perfectionnements de la métallurgie de l'aluminium permettront quelque jour un abaissement de prix beaucoup plus considérable.

En effet, la grosse source de dépenses dans la production de l'aluminium est la fabrication et la purification de l'alumine qui s'obtiennent actuellement par des procédés longs et compliqués, mais que de nombreux inventeurs s'efforcent de simplifier tous les jours. Quelques nouvelles méthodes sont en essai; si elles donnent les résultats attendus, le prix de revient de l'aluminium descendrait à 1^{fr},50 et même 1^{fr} le kilogr. Descendra-t-il encore plus bas, jusqu'au prix des matériaux de fer ou d'acier? Il est impossible actuellement de rien prévoir à ce sujet. Il semble même que ce résultat ne pourrait être atteint que par la découverte d'un procédé métallurgique, plus ou moins analogue à celui du fer, permettant de traiter à la fois des masses considérables d'alumine, ce que l'on ne peut songer à faire par la méthode électrolytique employée jusqu'à ce jour.

Discussion du Mémoire de M. Guilloux.

M. NORMAND, qui a employé des pièces en aluminium dans la construction du *Forban*, dit avoir spécifié dans ses commandes que l'alliage devrait donner 17^{kg} de résistance et 17 pour 100 d'allongement : l'alliage d'aluminium à 6 pour 100 de cuivre est difficile à travailler à une température trop basse, mais à 200° ou 250° c'est un métal admirable, qui donne facilement 20^{kg} de résistance et 20 pour 100 d'allongement.

Au sujet de la construction des torpilleurs en aluminium et de l'idée émise par M. Guilloux qu'on devrait constituer la charpente partie d'aluminium, partie d'acier, M. Normand est d'avis que cette combinaison présente de grands inconvénients : d'abord parce que le fer et l'aluminium en présence dans l'eau de mer donnent naissance à des courants galvaniques très énergiques, par lesquels l'aluminium est attaqué; en second lieu parce que le coefficient de dilatation de l'aluminium est environ deux fois et demie celui de l'acier. Or, certaines parties des torpilleurs, dans le voisinage des chaudières, atteignent des températures relativement élevées (on a vu des caillebotis prendre feu sur le pont); il y aurait donc à craindre de dépasser la limite d'élasticité du métal et d'avoir des déformations.

M. DRZEWIECKI signale un alliage d'aluminium et de tungstène qui aurait été essayé avec succès en Angleterre.

M. GUILLOUX répond que si l'acier est zingué comme à l'ordinaire, l'action galvanique est très faible; que d'ailleurs le bordé extérieur pourrait être fait entièrement en aluminium. Il n'y aurait plus alors que l'hélice, l'étambot et l'extrémité de l'arbre porte-hélice qui tendraient à produire des courants, et c'est une question de savoir si l'on se trouverait ainsi dans de plus mauvaises conditions qu'avec le bordé en acier d'un navire mû par des hélices en bronze.

Quant à l'autre difficulté signalée par M. Normand, elle est parfaitement fondée, mais paraît assez facilement surmontable. En effet, si l'aluminium a un coefficient de dilatation plus grand que le fer, sa conductibilité est également beaucoup plus grande, de sorte que les parois d'une chambre de chauffe en aluminium s'échaufferaient moins que si elles étaient en fer. La température du bordé mouillé par l'eau ne pourra pas s'élever. Il n'y a donc à considérer que le pont au-dessus de la chaudière, les parois latérales des soutes à charbon et les cloisons transversales limitant la chaufferie, et encore, seulement dans leur partie centrale. Or il est facile de faire en sorte que les efforts de dilatation des parois longitudinales des soutes ne se reportent point sur la charpente principale. Il est aisé également d'empêcher l'échauffement trop considérable du pont et des cloisons transversales au moyen d'écrans en aluminium de faible épaisseur. L'espace intermédiaire se ventilerait naturellement ou artificiellement avec la plus grande facilité.

CLOTURE DE LA SESSION.

La quatrième session a pris fin le samedi 27 janvier 1894, à 4^h de l'après-midi. Avant de lever la séance, le Président a rappelé que cette session était celle de 1893, qui avait été ajournée à la demande de plusieurs auteurs de Mémoires. Il exprime l'espoir que la session de 1894 pourra avoir lieu dans le courant de l'été, et, en terminant, il invite les auteurs dont les Mémoires seraient un peu longs, à en préparer d'avance un résumé qu'ils liraient aux séances, afin de permettre que plus de temps soit consacré aux discussions.



TABLE DES MATIÈRES.

	Pages
Statuts.....	V
Liste des membres du Bureau et du Comité d'études.....	IX
Liste des membres de l'Association.....	X

SESSION DE 1893.

Quatrième session de l'Association technique maritime.....	1
Des conditions de marche des navires à petite vitesse, par M. E. WIDMANN.....	4
Résultats obtenus par l'emploi du tirage forcé en cendriers fermés dans les ateliers et sur divers navires de la Compagnie générale transatlantique, par M. V. DAY- MARD.....	14
Quelques points concernant les cuirassés, par M. E. WEYL.....	35
Note sur les travaux de déglacage dans les estuaires fluviaux et maritimes, par M. MAURICE DIBOS.....	41
Sur la puissance giratoire comparée des gouvernails placés en avant et en arrière des hélices, par M. J.-A. NORMAND.....	65
Note sur l'influence de l'immersion de l'hélice et de la vitesse sur la rupture du cylindre d'eau actionné, par M. J.-A. NORMAND.....	68
Voies d'eau et pompes centrifuges, par M. DE MAUPEOU D'ALBLEIGES.....	74
Étude sur l'autonomie des ports de commerce en France et en Angleterre, par M. CHARLES LE COUR GRANDMAISON.....	85
Nouvelle méthode de calcul des éléments d'une carène, par M. KRILOFF.....	97
Études de géométrie des carènes, par M. DOYÈRE.....	139
Note sur l'utilisation des chalands pour la réparation des petits bateaux dans les ports à marée, par M. A. CRONEAU.....	157
<i>Ass. techn. mar., 1893.</i>	13

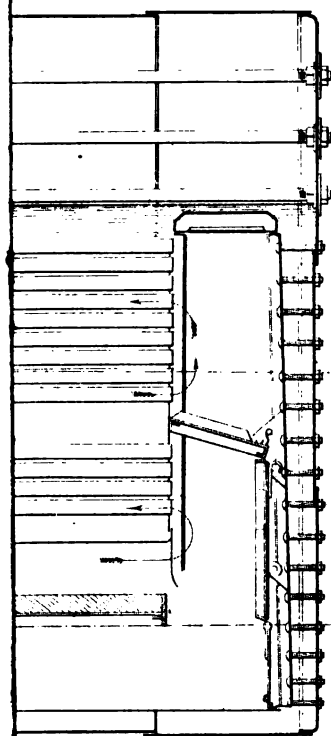
Le Congrès international maritime de Londres, par M. L. MULLER.....	161
De l'emploi de l'aluminium dans les constructions navales, par M. V. GUILLOUX...	175

PLANCHES.

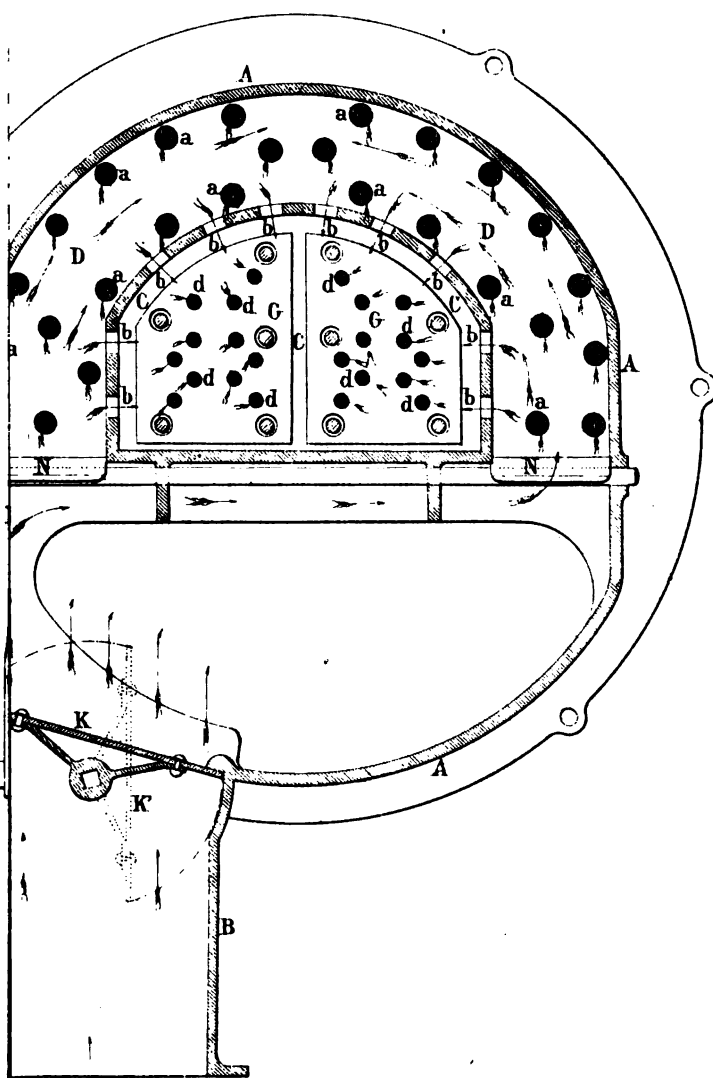
- I à V. Emploi du tirage forcé en cendriers fermés.
- VI et VII. Influence de l'immersion de l'hélice et de la vitesse sur la rupture du cylindre d'eau actionné.
- VIII. Voies d'eau et pompes centrifuges.

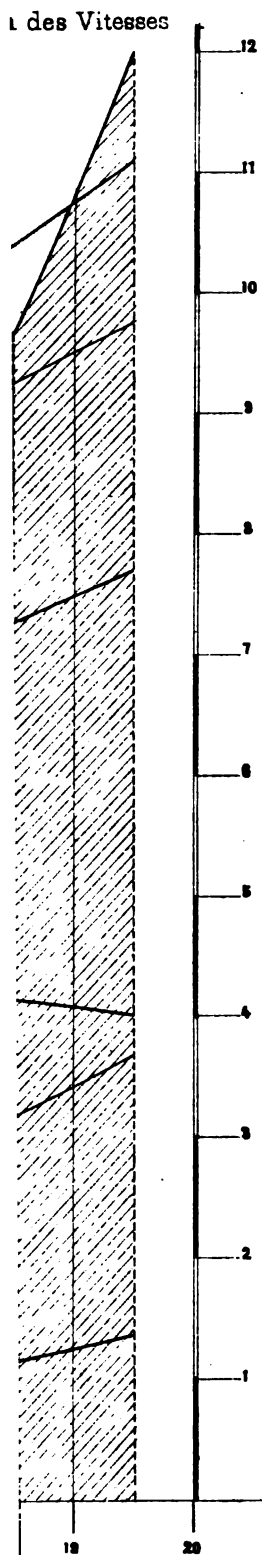


COURS DES GAZ



Coupe suivant AB





Echelle des Puissances, Révolutions, Utilisations

(Résultats des Essais)

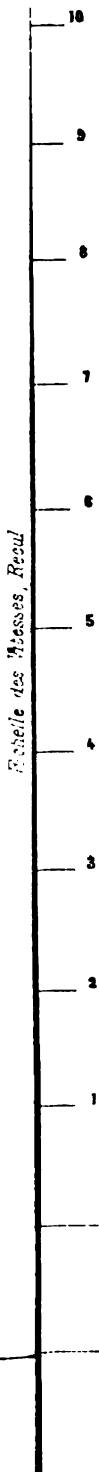
Echelle des Vitesse. Reculs
Echelle des Puissances, Révolutions, Uhlations

Légende

Le diagramme ci-contre a été tracé
avec les résultats des essais préliminaires
des 25 et 26 Octobre 1893 et de l'essai
officiel de vitesse du 4 9^h, faits sur la base
de Belle-Ile (5 milles 112)

Tirant d'eau moyen	6 ^m 16
Surface du Maître Couple	79 ^m 24
Déplacement	7563 ^t

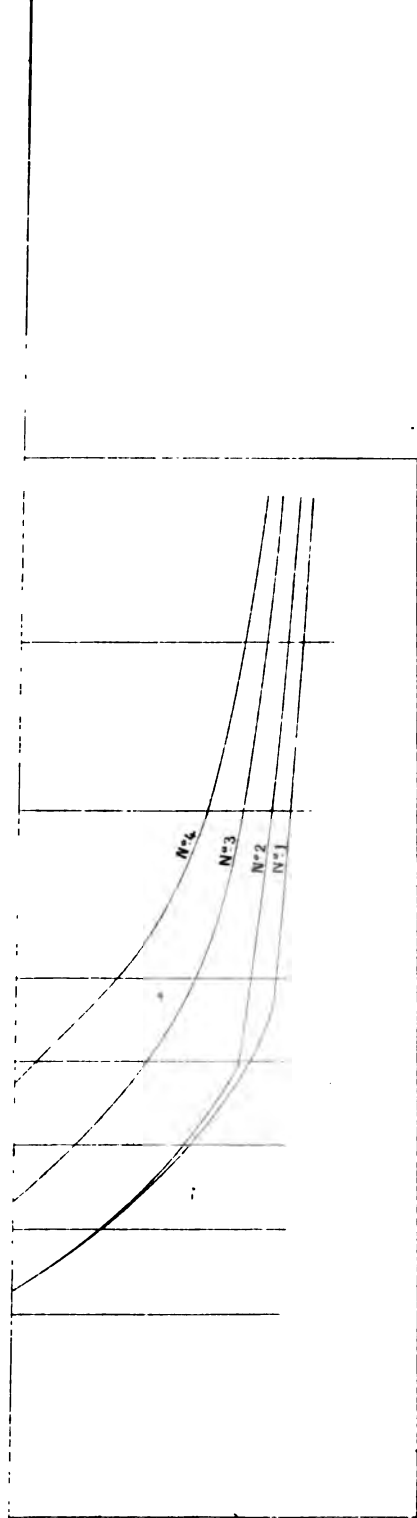
ises (Résultats des Essais)



Légende

Le diagramme ci contre a été tracé
avec le résultat des essais

Tirant d'eau moyen 4 m 73
Surface du Maître couple 39 m² 73
Déplacement 2603 t



AVTOIMP. L. COVETIER, PARIS.

Carrés des nombres de tours par seconde

Profondeur	Niveau de l'eau	Désignation	
		Points	Courbes
180	0 ^m 465	+	_____
170	0 355	o	_____
160	0 245	*	_____
150	0 165	*	_____

PUISEMENT A AXE VERTICAL

